



Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI
Instituto de Recursos Naturais – IRN
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial
e Geomática – NEPA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia



ANÁLISE DAS MUDANÇAS DO USO DA TERRA E COBERTURA VEGETATIVA NA SERRA DA MANTIQUEIRA E ENTORNO ATRAVÉS DE INDICADORES AMBIENTAIS

Oceanógrafa Damiane Silvestre Coelho

UNIFEI
Itajubá/MG, 2017.



Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI
Instituto de Recursos Naturais – IRN
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial
e Geomática – NEPA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia



ANÁLISE DAS MUDANÇAS DO USO DA TERRA E COBERTURA VEGETATIVA NA SERRA DA MANTIQUEIRA E ENTORNO ATRAVÉS DE INDICADORES AMBIENTAIS

Oceanógrafa Damiane Silvestre Coelho

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

Área de Concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas

UNIFEI
Itajubá/MG.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter dado a força necessária para começar e chegar ao fim deste trabalho.

Aos meus pais, minha irmã, meus sogros e meu noivo pela paciência e carinho neste período.

Ao meu filho que tem aprendido desde a barriga sobre a profissão de sua mãe e por ter me ajudado a enfrentar os momentos difíceis.

Ao professor Francisco Antônio Dupas pelas conversas, oportunidade e confiança para executar este trabalho.

As professoras Isabela Neves Drummond e Nívea Adriana Dias Pons por cederem seu tempo para tirar minhas dúvidas.

Aos colegas Fernanda Siqueira, Hélio da Silva, Leonardo, Janine Neves, Camila Andrade, André do Laboratório de Geoprocessamento, pela colaboração e troca de ideias.

Aos colegas virtuais Jorge Santos do Processamento Digital, Paulo Siqueira, Rafael Martins Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ), por toda ajuda prestada.

ABSTRACT

COELHO, D. S. Analysis of changes in land use and vegetative cover in the Serra da Mantiqueira and surroundings through environmental indicators. Itajubá, Dissertation in Energy Engineering- Center for Environmental Studies, Planning and Geomatics, Federal University of Itajubá.

The present study deals with changes in land use and vegetative cover in protected areas, located between the states of Rio de Janeiro, São Paulo and Minas Gerais, in the years 1985, 1995, 2005 and 2015. The Environmental Protection Areas of the Serra da Mantiqueira and Fernão Dias own some water resources are the source of some of the waters that contribute to the supply of the reservoir of the largest Brazilian capital, the Metropolitan Region of São Paulo (RMSP) and half of the Fluminense Region. In the electric scenario, they contribute to the reservoir supply of 40 hydroelectric plants. However, these are located in an area susceptible to the impacts of the processes of urban expansion and disordered land occupation. The objective of this work was to analyze the dynamics of changes in land use in protected and surrounding areas, by comparing orbital images applying to the classification supervised by the maximum likelihood method (MAX VER), Normalized Difference Vegetation Index (IVDN) (ROUSE, 1973) and Anthropic Transformation Indicator (ITA) (LÉMECHEV, 1982). Finally, scenarios of the demand pressure of soil for urban purposes and of priority areas for recovery were constructed, aiming at the conservation and maximization of water services. Data of cartographic nature were acquired (drainage letter, municipal and road mesh, limits of conservation units); (Multispectral images of Landsat 5 and 8 satellites) and census data (population data). Data from the Soil Loss Expectation (EPS) map, elaborated using the Universal Soil Loss Equation (EUPS), of the year 2015, by Da Silva (2016) were also used. The organization and treatment of the information was carried out with the help of Geographic Information Systems, Erdas and Arcgis. The increase in native forest contributed to the improvement of almost 20% of the environmental quality of the region, however, changes in the use and land cover of the environment characterize Potential threats to protected areas. The scenarios constructed allowed to locate the priority areas for recovery and conservation of the vegetative cover, and for interventions that allow to mitigate soil losses. Overall, results have improved understanding of land use analysis by integrating different environmental indicators, and it is possible to improve understanding of the status of protected areas and surroundings, making it possible to identify regions under potential threats and opportunities for conservation and recovery.

Keywords: Geotechnology. Vegetative cover. Water sources. Management of water resources

RESUMO

COELHO, D. S. Análise das mudanças do uso da terra e cobertura vegetativa na Serra da Mantiqueira e entorno através de indicadores ambientais. Itajubá, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Energia - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI.

O presente estudo aborda as mudanças do uso da terra e da cobertura vegetativa em unidades de conservação da natureza (UCS), situadas entre os estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais, nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015. As Áreas de Proteção Ambiental da Serra da Mantiqueira e Fernão Dias possuem nascentes responsáveis pelo abastecimento do reservatório da maior capital brasileira, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e metade da Região Fluminense. Já no cenário elétrico contribuem no abastecimento do reservatório de 40 hidrelétricas. Entretanto, estas áreas estão susceptíveis aos impactos dos processos de expansão urbana e ocupação desordenada do solo. Pretendeu-se com este trabalho analisar a dinâmica das mudanças ocorridas no uso da terra de áreas protegidas e entorno, através da comparação de imagens orbitais aplicando para tal a classificação supervisionada pelo método de máxima verossimilhança (MAX VER), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) (ROUSE, 1973) e Indicador de Transformação Antrópica (ITA) (LÉMECHEV, 1982). Finalmente, foram construídos cenários da pressão por demanda de consumo do solo para fins urbanos e de áreas prioritárias para recuperação, visando a conservação e maximização dos serviços hídricos. Foram adquiridos dados de natureza cartográfica (carta de drenagem, malha municipal e viária, limites das unidades de conservação); orbitais (imagens multiespectrais dos satélites *Landsat 5* e *8*) e censitários (dados populacionais). Utilizaram-se também os dados do mapa de Expectativa de Perda de Solo (EPS), elaborado através da Equação Universal da Perda de Solo (EUPS), do ano de 2015, por Da Silva (2016). A organização e o tratamento das informações foram realizados com o auxílio de Sistemas de Informação Geográfica, Erdas e Arcgis. Destacaram-se principalmente os resultados de aumento da mata nativa e a redução das atividades agrícolas entre 1985 e 2015. O aumento da mata nativa contribuiu na melhora de quase 20% da qualidade ambiental da região, entretanto, mudanças no uso e cobertura da terra do entorno caracterizam-se como potenciais ameaças as áreas protegidas. Os cenários construídos permitiram localizar as áreas prioritárias para recuperação e conservação da cobertura vegetativa, e para intervenções que possibilitem mitigar as perdas de solo. No geral, os resultados permitiram melhorar a compreensão a respeito da análise do uso da terra integrando diferentes indicadores ambientais, sendo possível melhorar a compreensão do status das áreas protegidas e entorno, tornando possível identificar regiões sob potenciais ameaças e oportunidades para conservação e recuperação.

Palavras-chave: Geotecnologias. Cobertura vegetativa. Mananciais urbanos. Gestão de recursos hídricos.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1 - Esquema de trabalhos desenvolvidos. | 16 |
| Figura 2 - Relação entre as reflectâncias de uma folha verde "sadia" e comprimentos de onda | 28 |
| Figura 3 - Municípios da área de estudo..... | 38 |
| Figura 4 - UCS da região..... | 40 |
| Figura 5 - Principais rios que cortam a região de estudo..... | 42 |
| Figura 6 - Registros fotográficos Ponto 1 ao Ponto 4..... | 51 |
| Figura 7 - Registros fotográficos Ponto 5 ao Ponto 8..... | 52 |
| Figura 8 - Esquema do método..... | 54 |
| Figura 9 - Etapas de obtenção dos resultados da classificação MAX VER. | 54 |
| Figura 10 - Etapas de obtenção dos resultados do IVDN..... | 56 |
| Figura 11 - Etapas da obtenção dos resultados do ITA. | 58 |
| Figura 12 - Etapas da avaliação multicritérios. | 60 |
| Figura 13 - Etapas para avaliação da acurácia..... | 62 |
| Figura 14 – Amostras da classe "Urbano" | 65 |
| Figura 15 - Amostras da classe "Solo exposto"..... | 66 |
| Figura 16 - Amostras da classe "Mata nativa" | 66 |
| Figura 17 - Amostras da classe "Eucalipto" | 67 |
| Figura 18 - Amostras da classe "Atividades agrícolas" | 67 |
| Figura 19 - Amostras da classe "Água" | 68 |
| Figura 20 - Amostras da classe "Outras" | 68 |
| Figura 21 - Dinâmica do ITA para área total, área de entorno e das APAS..... | 77 |
| Figura 23 – Área destinada às pastagens em ha | 89 |
| Figura 24 - Área ocupada por estabelecimentos agropecuários em ha..... | 89 |
| Figura 25- Áreas ocupadas por matas nativas. | 90 |
| Figura 26 - Histórico de trabalhos realizados pelo NEPA..... | 140 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Características dos satélites 5 e 8 da Família <i>Landsat</i> | 25 |
| Tabela 2 - Escala Fundamental de Saaty | 32 |
| Tabela 3 - Categorias das Unidades de Conservação da área de estudo. | 39 |
| Tabela 4 - Características das imagens orbitais..... | 48 |
| Tabela 5 - Combinação de bandas de imagens de satélite da família <i>Landsat</i> | 49 |
| Tabela 6 - Base cartográfica | 50 |
| Tabela 7 – Aplicativos..... | 53 |
| Tabela 8 - Reclassificação dos dados IVDN | 57 |
| Tabela 9 - Classificação quanto ao estado de degradação da área | 59 |
| Tabela 10 - Índice de consistência aleatória..... | 61 |
| Tabela 11 - Faixas de valores de <i>Kappa</i> | 64 |
| Tabela 12 - Análise temporal uso e cobertura da terra da área total. | 69 |
| Tabela 13 - Análise temporal uso e cobertura da terra para área das APAS..... | 70 |
| Tabela 14 - Análise temporal uso e cobertura da terra para o entorno..... | 72 |
| Tabela 15-Análise temporal do uso e cobertura da terra a partir do IVDN da área total. | 73 |
| Tabela 16 - Análise temporal do uso e cobertura da terra a partir do IVDN das APAS | 73 |
| Tabela 17 - Análise temporal do uso e cobertura da terra a partir do IVDN do entorno | 74 |
| Tabela 18- Pesos atribuídos a cada classe temática e respectivas referências..... | 75 |
| Tabela 19 - Análise temporal do grau de transformação antrópica para área total. | 76 |
| Tabela 20 - Análise temporal do grau de transformação antrópica para a área das APAS | 76 |
| Tabela 21 - Análise temporal do grau de transformação antrópica para o entorno..... | 76 |
| Tabela 22 - Pesos de compensação obtidos através da matriz de comparação pareada..... | 78 |
| Tabela 23 - Consistência dos pesos | 79 |
| Tabela 24 - Nível e pressão antrópica sobre a área total, APAS e entorno..... | 79 |
| Tabela 25 - Cruzamento de Pressões sobre uso do solo e classes de uso..... | 80 |
| Tabela 26- Pesos obtidos através da matriz de comparação pareada | 82 |
| Tabela 27 - Grau de consistência dos pesos. | 82 |
| Tabela 28 - Grau de prioridade para recuperação ambiental..... | 83 |
| Tabela 29 - Cruzamento entre prioridade e pressão da área total..... | 84 |
| Tabela 30 - Cruzamento entre Prioridade e Pressão da área das APAS..... | 84 |
| Tabela 31 - Matriz de erros entre imagem Google Earth e resultado do classificador MAX VER, ano de 2015..... | 85 |
| Tabela 32 - Acurácia do produtor e usuário para o classificador MAX VER ano de 2015 | 85 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1- ITA da Bacia do Córrego do Ipê | 31 |
|--|----|

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|--|----|
| Equação 1 - Cálculo bandas IVDN..... | 57 |
| Equação 2 - Cálculo ITA..... | 58 |
| Equação 3 - Índice de consistência..... | 60 |
| Equação 4 - Razão de consistência..... | 60 |
| Equação 5 - Combinação linear ponderada..... | 61 |
| Equação 6 - Exatidão global..... | 63 |
| Equação 7 - Erros de inclusão..... | 63 |
| Equação 8 - Erros de omissão..... | 63 |
| Equação 9 - Índice <i>Kappa</i> | 64 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| ANA | Agência Nacional das Águas |
| .csv | <i>Comma-separated values</i> |
| AC | Análise de Concordância |
| AMC | Avaliação Multicritérios |
| APA | Área de Proteção Ambiental |
| APP | Área de Preservação Permanente |
| ARIE | Área de Relevante Interesse Ecológico |
| CA | Índice de Consistência Aleatório |
| CLP | Combinação Linear Ponderada |
| CONAB | Companhia Nacional de Abastecimento |
| CPRM | Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| EE | Estação Ecológica |
| EPS | Expectativa de Perda de Solo |
| ESRI | <i>Environmental Systems Research Institute</i> |
| EUPS | Equação Universal da Perda de Solo |
| FN | Floresta Natural |
| GEE | Gases do Efeito Estufa |
| GPS | <i>Global Position System</i> |
| ha | Hectare |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais |
| IC | Índice de Consistência |
| ICMBIO | Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade |
| IFV | Infravermelho |
| IFVM | Infravermelho Médio |
| IFVP | Infravermelho Próximo |
| IGAM | Instituto Mineiro de Gestão das Águas |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| ITA | Índice de Transformação Antrópica |
| IVDN | Índice de Vegetação por Diferença Normalizada |
| kw | <i>Quilowatt</i> |
| MAX VER | Máxima Verossimilhança |
| MEA | <i>Millenium Ecosystem Assessment</i> |
| Mha | Mega hectare |
| MCTI | Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação |
| MJ | Mega joule |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| MN | Monumento Natural |
| NBDI | <i>Normalized Difference Built-Up Index</i> |
| NDWI | <i>Normalized Difference Water Index</i> |

| | |
|----------|--|
| NEPA | Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática |
| NO2 | Óxido nitroso |
| OLI | <i>Operational Land Imager</i> |
| PCJ | Piracicaba, Capivari, Jundiá |
| PHA | Processo Hierárquico Analítico |
| PI | Plano de Informação |
| PN | Parque Nacional |
| PSA | Pagamentos por Serviços Ambientais |
| RB | Reserva da Biológica |
| RC | Razão de Consistência |
| RDS | Reserva de Desenvolvimento Sustentável |
| RE | Reserva Extrativista |
| RF | Reserva de Fauna |
| REM | Radiação Eletromagnética |
| RL | Reserva Legal |
| RMS | Região Metropolitana de São Paulo |
| RPPN | Reserva Particular do Patrimônio Natural |
| RVS | Refúgio de Vida Silvestre |
| SAD | <i>South American Datum</i> |
| SBCS | Sociedade Brasileira de Ciência do Solo |
| SEMA | Secretaria de Meio Ambiente |
| SIG | Sistemas de Informação Geográfica |
| SIRGAS | Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas |
| SNUC | Sistema Nacional de Unidades de Conservação |
| SR | Sensoriamento Remoto |
| SWIR | <i>Short-Wave Infrared Imagery</i> |
| <i>t</i> | Tonelada |
| TM | <i>Thematic Mapper</i> |
| UC | Unidade de Conservação da Natureza |
| USGS | <i>United States Geological Service</i> |
| USLE | <i>Universal Soil Loss Equation</i> |
| V | Vermelho |
| WGS | <i>World Geodetic System</i> |

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| ABSTRACT | IV |
| RESUMO | V |
| LISTA DE FIGURAS | VI |
| LISTA DE TABELAS | VII |
| LISTA DE QUADROS | VIII |
| LISTA DE EQUAÇÕES | IX |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS | X |
| SUMÁRIO..... | 12 |
| CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA..... | 14 |
| 1.2. JUSTIFICATIVA | 16 |
| CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS..... | 17 |
| 2.1. OBJETIVO GERAL..... | 17 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 17 |
| CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 18 |
| 3.1. USO E COBERTURA DA TERRA..... | 18 |
| 3.2. UNIDADES DE CONSERVAÇÃO | 21 |
| 3.3. SR E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA | 24 |
| 3.4. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA –IVDN | 27 |
| 3.5. ÍNDICE DE TRANSFORMAÇÃO ANTRÓPICA – ITA | 30 |
| 3.6. AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO EM AMBIENTE SIG | 32 |
| 3.7. AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DAS CLASSIFICAÇÕES..... | 34 |
| CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E MÉTODOS | 36 |
| 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 36 |
| 4.2. MATERIAIS..... | 48 |
| 4.3. MÉTODOS | 53 |
| 4.3.1. Uso e cobertura da terra..... | 54 |
| 4.3.2. IVDN | 56 |
| 4.3.3. ITA | 58 |
| 4.3.4. Cenário 1 - Análise das áreas de pressão sobre uso do solo..... | 59 |
| 4.3.5. Cenário 2 - Análise e proposta para área de recuperação e conservação ambiental | 62 |
| 4.3.6. Avaliação da acurácia..... | 62 |
| CAPÍTULO 5 – RESULTADOS | 65 |
| 5.1. IDENTIFICAÇÃO DAS CLASSES DAS IMAGENS DE SATÉLITE..... | 65 |
| 5.2. ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA | 68 |

| | |
|--|-----|
| 5.3. ANÁLISE TEMPORAL A PARTIR DO ITA..... | 74 |
| 5.4. CENÁRIO 1 - ÁREAS DE PRESSÃO SOBRE USO DO SOLO PARA FINS URBANOS | 78 |
| 5.5. CENÁRIO 2 - ANÁLISE E PROPOSTA PARA ÁREAS DE RECUPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL | 81 |
| 5.6. AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA..... | 85 |
| CAPÍTULO 6 - DISCUSSÕES | 87 |
| 6.1. ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA | 87 |
| 6.2. ANÁLISE DAS TRANSFORMAÇÕES ANTRÓPICAS..... | 92 |
| 6.3. ANÁLISE DAS PRESSÕES SOBRE O USO DO SOLO E PROPOSTA PARA ÁREAS PRIORITÁRIAS | 94 |
| CAPITULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS | 98 |
| 7.1. CONCLUSÕES | 100 |
| 7.2. RECOMENDAÇÕES | 101 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 102 |
| APÊNDICES | 116 |
| ANEXO | 140 |

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização do tema

O processo de desenvolvimento da sociedade envolve uma série de transformações ambientais, sendo que o uso de métodos, técnicas e ferramentas de geoprocessamento são largamente empregados na análise dos recursos. Com isso, é possível realizar diagnósticos rápidos e eficientes para processos de tomada de decisão. Dentre as técnicas de avaliação tem-se a classificação temporal de imagens de satélite e aplicações de indicadores ambientais, sendo de grande importância para sintetização dos dados para avaliação por gestores, pesquisadores e outros.

A demanda por recursos naturais tem aumentando cada vez mais, enquanto os estoques têm sido reduzidos ao longo dos anos. Neste processo, as áreas protegidas têm se tornado cada vez mais importantes, uma vez que promovem serviços de alto valor natural e comercial, como água, solo e alimentos. Tal fato torna-se ainda mais importante quando a sociedade vive sob riscos de escassez de recursos e quando estas áreas protegidas se localizam em meio a diversas pressões antrópicas.

As Áreas protegidas incluem áreas de preservação permanente (APP), unidades de conservação (UC), reserva legal (RL), reserva particular do patrimônio natural (RPPN) e corredores ecológicos. Em especial as Unidades de Conservação, objetos de estudo deste trabalho, são espaços protegidos pela Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000 constituindo os espaços territoriais e seus recursos ambientais, com características naturais relevantes, com objetivos de conservação.

Em especial na área de estudo localizam-se as UCS: Área de Proteção Ambiental (APA) Federal da Serra da Mantiqueira instituída pelo Decreto nº 91.304 (BRASIL, 1985) e APA Estadual Fernão Dias, instituída pelo Decreto nº 38.925 (BRASIL, 1997). As APAS em questão contribuem na conservação de três importantes rios que nascem na região, o Rio Aiuruoca o formador da bacia do Rio Paraná, o Rio Paraíba do Sul que abastece parte do Rio de Janeiro e o Rio Jaguari que abastece parte da região metropolitana de São Paulo (RMSP).

Desde o século XVII a Serra da Mantiqueira tem sido explorada pela produção cafeeira, leiteira e extrativista. No entorno, as terras foram marcadas pela ocupação urbana, hidrelétricas, fábricas de diferentes atividades e estradas federais, municipais, construídas durante o processo desenvolvimentista. Recentemente ela vem sendo explorada por seus atrativos turísticos e especulação imobiliária.

As informações a respeito do impacto das atividades antrópicas sobre o uso da terra e cobertura vegetativa das áreas de UCS são essenciais no processo de tomada de decisão para conservação e restauração dos recursos, no entanto, ainda existem lacunas neste aspecto na região que esta pesquisa abrange.

Este trabalho baseia-se no princípio de que as mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra têm como principal efeito as alterações sobre formações florestais, seja pela substituição das formações originais ou supressões das mesmas, que podem influenciar em processos erosivos com consequências para a qualidade e quantidade de recursos hídricos.

Para este fim foi realizada a avaliação da dinâmica das mudanças ocorridas no uso da terra de áreas protegidas e entorno, através da comparação de imagens orbitais aplicando para tal a classificação supervisionada pelo método de máxima verossimilhança (MAX VER), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) (ROUSE, 1973), Indicador de Transformação Antrópica (ITA) (LÉMECHEV, 1982) e a Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) (WISCHIMEIER; SMITH, 1978). Então foram construídos cenários da pressão por demanda de consumo do solo para fins urbanos e de áreas prioritárias para recuperação, visando a conservação e maximização dos serviços hídricos sendo que a organização e o tratamento das informações foram realizados com o auxílio de Sistemas de Informação Geográfica, Erdas e Arcgis.

Este trabalho apresenta as seguintes contribuições: 1. Subsidiar informações espaciais para a prescrição de ações de gestão e manejo mais eficazes para a Serra da Mantiqueira; 2. Contribuir para o melhor conhecimento dos aspectos de desenvolvimento da região; 3. Apresentar a potencialidade de técnicas para análise do uso e cobertura da terra; e 4. Disponibilizar informações com vistas na aplicação de ações de recuperação ambiental para conservação dos recursos hídricos.

Esta dissertação está organizada da seguinte maneira: O capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho e a justificativa localizando a importância do tema nas questões atuais. O capítulo 2 apresenta os objetivos, geral e específicos. Os conceitos, estudos sobre o tema principal são apresentados no capítulo 3. O capítulo 4 apresenta a caracterização da área de estudo levantando as principais características, os materiais utilizados na pesquisa e métodos empregados. O capítulo 5 e 6 apresentam os resultados e a discussão para cada um deles, respectivamente. Finalmente, as conclusões são apresentadas no último capítulo.

1.2. Justificativa

Este trabalho justifica-se partindo do pressuposto de que a área da Serra da Mantiqueira tem papel fundamental na provisão de serviços ambientais, essenciais à sadia qualidade de vida, bem-estar populacional e conservação da biodiversidade. Entretanto, por estar localizada em uma região de forte pressão antrópica tem sofrido ao longo dos anos alterações na paisagem original que podem levar a efeitos negativos sobre os ecossistemas. Dentro das atuais ocorrências de crises no setor de abastecimento e elétrico brasileiro em virtude da escassez hídrica, a avaliação das transformações ambientais ocorridas é fundamental para subsidiar a prescrição de ações de gestão e manejo mais eficazes para a Serra da Mantiqueira. Tendo como principal objetivo subsidiar trabalhos de conservação e recuperação dos recursos hídricos e de forma indireta da biodiversidade local e regional.

Este trabalho faz parte do Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA, que desenvolve trabalhos na área de gestão e planejamento de bacias hidrográficas. Paralelo a esta pesquisa foram desencadeados outros trabalhos, conforme mostrado na Figura 1.

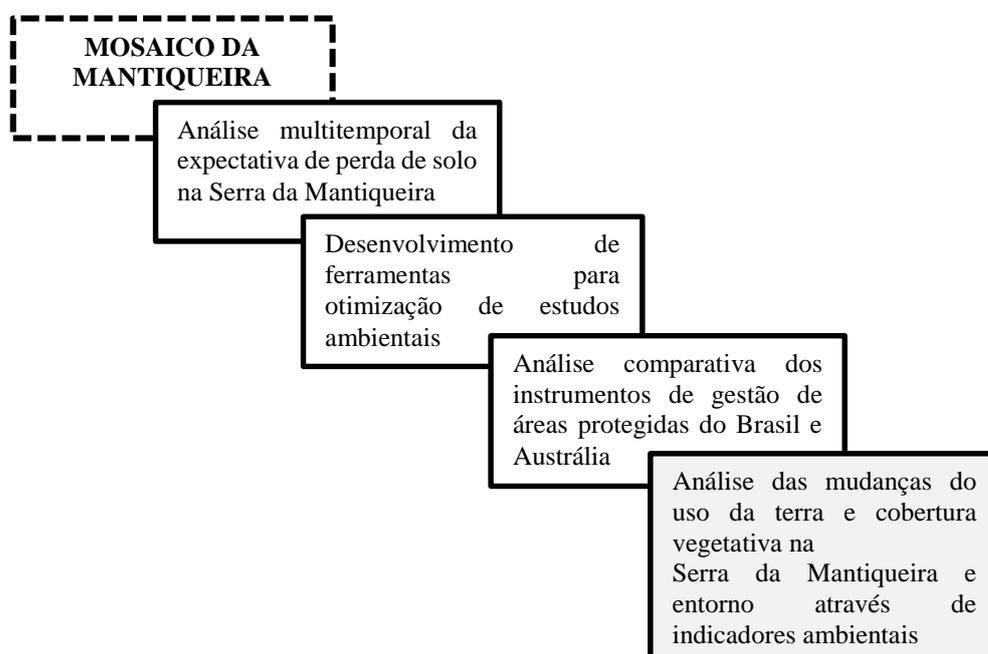


Figura 1 - Esquema de trabalhos desenvolvidos.

CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Analisar as alterações ocorridas no uso da terra e cobertura vegetativa de forma temporal através de indicadores ambientais. Comparar indicadores e identificar cenários de degradação e recuperação a partir do uso de geotecnologias.

2.2. Objetivos Específicos

- (1) Analisar através do MAXVER, IVDN e ITA as mudanças no uso e cobertura vegetativa;
- (2) Comparar o IVDN e MAX VER na análise do uso e cobertura vegetativa;
- (3) Identificar às áreas susceptíveis as pressões do uso do solo através do uso de geotecnologias;
- (4) Estabelecer as áreas prioritárias para recuperação com foco na maximização dos serviços hidrológicos.

CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. USO E COBERTURA DA TERRA

As mudanças sobre o uso da terra e cobertura vegetativa acarretam no aumento ou diminuição da perda de solo em uma bacia com consequências para qualidade e quantidade de recursos hídricos. Áreas onde houve supressão da vegetação podem acelerar os processos erosivos, assim como o aumento da impermeabilização do solo pela instalação de estruturas urbanas poderá ocasionar na menor infiltração de água no solo e aumento do escoamento superficial das águas com consequência para erosão em áreas subjacentes. Ou seja, mudanças na cobertura vegetativa têm implicações diretas sobre a expectativa da perda de solo.

No panorama mundial pesquisas têm revelado as transformações ocorridas pela expansão das atividades antrópicas sobre a paisagem natural. Como por exemplo, estima-se que na Europa 13 bacias hidrográficas perderam pelo menos 90% de sua cobertura vegetal original; na China, nas bacias de Yangtzé e Rio Amarelo houve uma perda de 85% e 78% da cobertura mata nativa, respectivamente (POSTEL; THOMPSON, 2005).

O Brasil possui aproximadamente 300 Mha ocupados pela agropecuária, deste 68 Mha são usados pela agricultura e o restante constituem pastagens em diferentes graus de ocupação, produtividade e de degradação (BRASIL, 2014). No berço do maior produtor de água do mundo, o Sistema Cantareira, cerca de 70% das áreas de preservação permanente foi convertido para prática pecuária (LIMA *et al.*, 2010; LIMA *et al.*, 2014).

Como resultado do impacto sobre os recursos hídricos calculam-se maiores custos no tratamento para o setor de saneamento e produção de energia, em virtude da maior carga de material em suspensão a ser tratada, além do aumento da vulnerabilidade das populações; perda de biodiversidade; baixa qualidade estética contemplativa e recreativa com consequências para o setor de turismo (SCHOONOVER *et al.*, 2005; TUNDISI *et al.*, 2015).

As águas da Terra encontram-se em permanente movimento, constituindo o Ciclo Hidrológico. O movimento cíclico da água é um fenômeno global e fechado entre a superfície e a atmosfera, impulsionado pela energia solar, ação da gravidade e movimento de rotação da Terra (BALBINOT *et al.*, 2009). Parte deste movimento é rápido, uma gota de água permanece 16 dias em um rio e cerca de 8 dias na atmosfera (SETTI *et al.*, 2001 *apud* SHIKLOMOV, 1997). No entanto, pode levar milhares de anos para atravessar um aquífero profundo (SETTI *et al.*, 2001).

A água movimenta-se dentro do ciclo de diferentes formas, como, nuvens, cursos d'água, correntes oceânicas, chuva, vapor d'água. Envolve ainda diversos processos hidrológicos,

evaporação, precipitação, interceptação, transpiração, infiltração, percolação, escoamento superficial, e outros, que influenciam diretamente as bacias hidrográficas (LIMA, 2008).

Nem toda água precipitada incide na superfície e participa de todos os processos hidrológicos. Dentro de uma bacia hidrográfica a água pode percorrer diferentes caminhos. Cerca de 67% das águas das chuvas são interceptadas pelas plantas (LIMA, 2008). A ação de interceptação pode resultar em dois processos, a evaporação, que ocorre sobre as estruturas, e a transpiração, como resultado do processo de fotossíntese (LIMA, 2008).

Outra parte da precipitação, aproximadamente 23%, atinge a superfície do solo e têm como caminhos o escoamento superficial ou a infiltração no solo com ou sem posterior percolação por seu perfil (LIMA, 2008) que dependerá das características de cobertura e declividade para que este escoamento seja facilitado ou não.

O destino final da bacia é a formação do rio e qualquer ação que ocorra durante a sua trajetória poderá refletir na sua qualidade (MENDES; CIRILO, 2001). Desta forma a qualidade do recurso dependerá dos usos e atividades desenvolvidas em seu entorno (GUIDOLINI *et al.*, 2013).

A relação entre a vegetação e a água é tão importante que o aspecto vegetativo é considerado o primeiro indicativo de saúde de uma bacia hidrográfica (COSTA *et al.*, 2013).

A vegetação tem papel fundamental na manutenção dos solos e na disponibilidade de água em qualidade e quantidade. A vegetação ao mesmo tempo em que atua na dissipação da energia cinética das gotículas de chuva (SILVA *et al.*, 2005); facilitam a infiltração de água conduzindo-a aos canais internos do solo abastecendo os aquíferos criando assim condições para manutenção dos rios mesmo em épocas de estiagem (TUCCI; CLARKE, 1997). E ainda influenciam na interceptação da chuva reduzindo localmente (< 2 km) o escoamento superficial, e em escalas regionais a continentais (105 a 107 km²) podem aumentar as chuvas e os rendimentos de água (CUNNINGHAM *et al.*, 2015).

As matas ciliares atuam na filtragem das impurezas, redução do volume de sedimentos, nutrientes, produtos químicos tóxicos e outros materiais, auxiliando na melhoria da qualidade das águas, diminuindo processos de eutrofização e ainda atuando na preservação da fauna e flora (CAVALCANTE, 2013).

Diversos trabalhos têm constatado o potencial dos ecossistemas florestais na manutenção da qualidade da água. Nos Estados Unidos uma análise da água de 27 fornecedores revelou que os custos de tratamento de água de bacias hidrográficas cobertas por pelo menos 60% por floresta foram metade do custo do tratamento da água de bacias hidrográficas com cobertura mata nativa

de 30%, e um terço do custo de purificação de água de bacias hidrográficas com cobertura mata nativa de 10% (ERNST, 2004).

Rasiah *et al.* (2015) no estado de Victoria, Austrália, identificaram as mudanças na condição do solo após o reflorestamento de um riacho desmatado. Os resultados mostraram melhorias significativas em seis anos após o reflorestamento na densidade aparente, carbono orgânico total, nitrogênio mineral total, pH e condutividade elétrica quando comparado com a área desmatada.

Segundo pesquisas de Fernandes *et al.* (2014) e Tanaka *et al.* (2015) fragmentos de mata ciliares são capazes de melhorar a qualidade da água local de rios com áreas desmatadas. À medida que as águas fluem por entre córregos com áreas desmatadas e florestadas são observadas mudanças positivas na composição físico-química e na estrutura das comunidades de macro invertebrados de mata nativa, ou seja, ocorre nessas áreas uma restauração local na qualidade da água. Os autores destacam ainda que em áreas rurais, remanescentes de mata ciliar são importantes para a manutenção e melhoria da qualidade da água contribuindo para mitigar os efeitos não pontuais de atividades agrícolas.

Da Silva (2016) identificou perdas de 15.264,5 ton/ha.ano, 13.655,5 ton/ha.ano, 11.733,2 ton/ha.ano e 9.418,3 ton/ha.ano de sedimentos nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015, respectivamente, na área da Serra da Mantiqueira. E constatou que a redução progressiva da perda esteve ligada ao aumento da vegetação nativa na região. Demonstrando assim a importância da conservação da vegetação para mitigação dos processos erosivos.

A perda de solo é um processo subsequente às alterações ocorridas na cobertura vegetativa. Trata-se de um processo gradual ambiental negativo que é acelerado pelas atividades humanas e tem como implicação o declínio da capacidade dos recursos da terra para desempenhar suas funções (por exemplo, produção de energia e alimentos, filtragem de água e ar, fornecendo habitat, etc.) (OMUTO *et al.*, 2011). Ao mesmo tempo, a degradação deste recurso pode diminuir a resistência, tornando-o mais vulnerável e reduzindo sua capacidade de se recuperar de distúrbios (ECKERT *et al.*, 2015).

O processo de erosão do solo é afetado por um conjunto de fatores que mudam no espaço e no tempo, podendo ser intensificado pelas atividades humanas, em regiões onde ocorra produção agrícola, mineração, construção e o desmatamento (PEROVIĆ *et al.*, 2013).

A erosão pode ainda ser agravada quando aliado aos processos inadequados de manejo e uso do solo, encontram-se áreas com características de relevo e solos propícios a escorregamentos, como é o caso da Serra da Mantiqueira. Cerca de 40% da região sudeste incluindo parte do Estado de São Paulo e da Serra do Mar apresenta terras muito susceptíveis à

erosão em decorrência de relevos mais acidentados e/ou a solos com elevados conteúdos de areia ou significativa diferença de textura em profundidade (GEO AMBIENTE, 2002).

Os solos da região sudeste também têm como característica a baixa fertilidade (MANZATTO *et al.*, 2002) o que exige um maior tratamento e uso de calcário e adubos. Segundo Vanzela *et al.* (2010) e Bertol *et al.* (2007) no período chuvoso ocorre o carreamento de partículas de solo, matéria orgânica e insumos agrícolas para os rios contribuindo significativamente com o aumento da concentração de sólidos e nutrientes na água dos mananciais diminuindo a qualidade dos mesmos. Além disso, outra consequência deste impacto é a perda em quantidade de água como resultado do processo de assoreamento.

O escoamento superficial é a fase do ciclo hidrológico que trata do deslocamento de água sobre a superfície sendo diretamente relacionado às características do uso e cobertura da terra, como: presença e estado de conservação da vegetação, declividade do terreno, grau de compactação do solo e ainda do grau de impermeabilização da bacia (TUCCI; CLARKE, 1997). O resultado de um escoamento superficial sobre solos que não apresentam condições para infiltração da água e barramento deste escoamento é a intensificação da erosão hídrica e consequente perda de solo.

A erosão hídrica, decorrente do escoamento superficial, é tratada como a forma mais séria de degradação do solo, pois além de reduzir a capacidade produtiva causa prejuízos financeiros em razão da perda de nutrientes naturais das camadas mais superficiais e ainda dos adubos, fertilizantes e nutrientes adicionados no solo pelo agricultor (BERTOL *et al.*, 2007).

Segundo Oldeman (1992) cerca de um milhão de ha de terras no mundo foram afetadas pela erosão hídrica. Na América do Sul 51% dos solos encontra-se em estado degradado (OLDEMAN, 1992). No Brasil, 500 milhões de toneladas de solo são perdidas anualmente (SBCS, 2016). No estado de São Paulo 83% tem alta criticidade à erosão (SEMA/SP, 2006) refletindo em impactos diretos na economia brasileira (BERTOL *et al.*, 2007).

3.2. UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Na constante expansão de áreas urbanas em direção as áreas rurais as bacias hidrográficas estão sendo degradadas e/ou alteradas. Neste cenário, as unidades de conservação têm papel fundamental para preservar os recursos ainda existentes (DE OLIVEIRA; ALVES, 2006), considerando principalmente o uso para esta e as próximas gerações.

O conceito de áreas protegidas perdura por séculos, iniciou com as comunidades indígenas e tinham como objetivo a proteção de locais sagrados, o conceito foi refinado ao longo

dos anos e as áreas globais destas áreas cresceram extremamente rápido a partir da virada do século XX sendo que atualmente cobrem 5,6% da superfície terrestre (WATSON *et al.*, 2014).

Estudos recentes concluíram que as áreas protegidas, quando bem geridas, reduzem as taxas de perda de habitat, mantem níveis de população de espécies inclusive as ameaçadas (WATSON *et al.*, 2014). Além disso, as áreas protegidas também desempenham funções na redução da pobreza e no desenvolvimento econômico, fornecem serviços essenciais como segurança alimentar, manutenção da biodiversidade, e desempenham um papel cada vez mais importante na mitigação de mudanças climáticas e na redução das emissões causadas pelo desmatamento e degradação mata nativa, além da conservação, manejo sustentáveis e aumento das reservas florestais de carbono (WATSON *et al.*, 2014).

Em termos de serviços hidrológicos Harrison *et al.* (2016) mediram a quantidade de água que está sendo fornecida pelas áreas protegidas às áreas a jusante, e como as áreas protegidas ameaçadas estão em termos de sua provisão de água. Os autores observaram que as áreas protegidas representam 20% do total global de aproximadamente 40 000 km³ ao ano de escoamento continental, sendo que desta área cerca de 10% estão expostas a ameaças, globalmente 80% dos usuários a jusante recebem água de áreas protegidas a montante que estão sob alta ameaça. De acordo com Watson *et al.* (2014) um terço das 100 maiores cidades do mundo depende das áreas protegidas como fontes significativas de água potável.

Estas áreas estão submetidas a constantes ameaças da expansão urbana e de atividades agrícolas. Há evidências que haverá avanço em média de três vezes mais áreas urbanas sobre UCS até 2030 em todo o mundo (MCDONALD *et al.*, 2009), implicando na degradação da biodiversidade local (MCDONALD *et al.*, 2008), e perda de serviços ecossistêmicos (MEA, 2005). Tais fatores oferecem risco para a seguridade da provisão hídrica quando considerada uma área de grade número de nascentes como a Mantiqueira.

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), rege sobre as áreas protegidas brasileiras, instituído pela Lei Federal nº 9.985 de 18 de julho de 2000 (BRASIL, 2000), trouxe uma série de diretrizes e normas visando a modernização da gestão e do manejo destas áreas.

As unidades de conservação integrantes do SNUC dividem-se em dois grupos:

- Unidade de Proteção Integral, cujo objetivo principal é preservar a natureza, admitindo apenas uso indireto de seus recursos. Para este caso, incluem-se: Estação Ecológica (EE) cujo objetivo é a preservação ambiental e a realização de pesquisas científicas; Reserva Biológica (RB) que visa à proteção integral da biota e demais recursos naturais existentes em seus limites, sem interferência humana direta ou modificações ambientais; Parque Nacional (PN) cuja finalidade é a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza

cênica, sendo permitida a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação ambiental e de turismo ecológico; Monumento Natural (MN) em que se busca preservar sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica; Refúgio de Vida Silvestre (RVS) visa proteger ambientes naturais onde se asseguram condições para existência e reprodução de espécies ou comunidades da flora e da fauna residente ou migratória. Com exceção desse último e do Monumento Natural, em todos os casos citados, elas são de posse e de domínio público.

- Unidade de uso sustentável na qual a função principal é a compatibilização entre conservação da natureza e o uso sustentável de parcela dos recursos naturais. Nesta categoria, aparecem: Áreas de Proteção Ambiental (APA) cujos objetivos fundamentais são proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais; Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) na qual se busca manter os ecossistemas naturais de importância regional ou local e regular o uso admissível dessas áreas; Florestas Naturais (FN) que tem como objetivo o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica; Reservas Extrativistas (RE), área utilizada por populações extrativistas tradicionais, cujo alvo reside na proteção dos meios de vida e da cultura dessas populações; Reserva de Fauna (RF), áreas utilizadas para estudos técnico-científicos sobre manejo econômico sustentável de recursos faunísticos; Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) com finalidade de conservação da diversidade biológica; Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS), área que abriga populações tradicionais com papel fundamental na proteção da natureza e na manutenção da diversidade biológica.

As APAS se enquadram neste último grupo. O SNUC classifica a APA de acordo com o Art. 15:

“Área de Proteção Ambiental é uma área em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais, especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, tendo como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais” (BRASIL, 2000).

As APAS foram criadas pela lei nº 6.902/81 a fim de assegurar o bem-estar da população, conservar ou melhorar condições ecológicas locais a partir da proteção de porções de território

(BRASIL, 1981). Esta proteção ocorre através do estabelecimento de normas, limitando ou proibindo ações com potencial para degradar o ambiente natural.

O plano de manejo é um importante instrumento de planejamento e gestão das unidades de conservação. No documento é estabelecida a zona de amortecimento que tem o importante papel de atuar como um sistema tampão, mitigando os impactos das ações antrópicas sobre áreas protegidas (BRASIL, 2015). O Brasil conta com 1940 unidades de conservação em seu território incluindo unidades federais e estaduais, de proteção integral e de uso sustentável, sendo que 586 são unidades de conservação de proteção integral e 1354 unidades de uso sustentável (BRASIL, 2016).

3.3. SR E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

O Sensoriamento Remoto (SR) desenvolveu-se a partir do aperfeiçoamento de sistemas fotográficos e da aviação. Atualmente existe uma gama de satélites de diferentes resoluções geométricas e espectrais que são aplicados a estudos em diferentes escalas (SHIMABUKURO *et al.*, 2009). Junto ao SR desenvolveram-se os *softwares* para processamento das imagens, os SIG (Sistemas de Informação Geográfica) (SHIMABUKURO *et al.*, 2009), fornecendo ambientes de análise mais flexíveis para exibir, armazenar e analisar dados necessários para detecção de mudanças no ambiente (ZHANG *et al.*, 2011).

O SR pode ser definido como um conjunto de técnicas que tem como objetivo obter informações sobre alvos terrestres sem que ocorra contato direto com eles (NOVO, 1989), fundamentado em quatro pilares: fonte, alvo, sensor e radiação eletromagnética (NOVO; PONZONI, 2001).

Ao longo dos anos o uso da geotecnologia tornou-se indispensável na elaboração de diagnósticos rápidos e eficientes através da observação e monitoramento da superfície terrestre (SHIMABUKURO *et al.*, 2009), diversificando-se em estudos do uso e cobertura da terra (ABUELAISH; OLMEDO, 2016; BUTT *et al.*, 2015), conservação do solo (MOHAMMAD; ADAMOWSKI, 2015), alterações na vegetação (TIAN *et al.*, 2016), hidrologia (SUN *et al.*, 2016; RAGETTLI *et al.*, 2015) e outros.

Neste processo as informações podem ser coletadas por sensores acoplados a satélites orbitais. A formação das imagens é feita da interação entre a radiação eletromagnética (REM) e as características físicas, químicas e biológicas de cada elemento alvo que por fim são transformadas em níveis digitais (FLORENZANO, 2011; MORAES, 2002).

Cada satélite/sensor apresenta diferentes resoluções, divididas em quatro categorias, espacial, espectral, radiométrica e temporal. A Tabela 1 demonstra estas diferenças entre os satélites 5 e 8 da família *Landsat*, sendo que este último apresenta uma evolução em termos espectrais e radiométricos.

Tabela 1- Características dos satélites 5 e 8 da Família *Landsat*

| Satélite | Bandas | Resolução espectral | Resolução espacial | Resolução temporal | Área imageada | Resolução radiométrica |
|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------|------------------------|
| <i>Landsat</i> 5 | Azul | 0,45 - 0,52 | | | | |
| | Verde | 0,50 - 0,60 | | | | |
| | Vermelho | 0,63 - 0,69 | 30 m | | | 8 bits |
| | IFVP | 0,76 - 0,90 | | | | |
| | IFVM | 1,55 - 1,75 | | | | |
| | IFV termal | 10,4 - 12,5 | 120 m | 16 dias | 185 km | |
| | IFVM | 2,08 - 2,35 | 30 m | | | |
| <i>Landsat</i> 8 | Aerossol, costeira | 0,43 - 0,45 | 30 m | | | 12 bits |
| | Azul | 0,45 - 0,51 | | | | |
| | Verde | 0,53 - 0,59 | | | | |
| | Vermelho | 0,64 - 0,67 | | | | |
| | IFVP | 0,85 - 0,88 | | | | |
| | SWIR 1 | 1,57 - 1,65 | | | | |
| | SWIR 2 | 2,11 - 2,29 | | | | |

Fonte: Adaptado de INPE (2016)

A resolução espacial indica a menor área que um sensor é capaz de identificar (SHIMABUKURO *et al.*, 2009). Quando observada em uma imagem digital diz respeito ao tamanho do pixel da imagem.

A resolução espectral refere-se à largura da faixa do espectro eletromagnético que o sensor é sensível, quanto menor o número de faixas e mais largas estas forem menor é a resolução, quanto maior o número de faixas e mais estreitas estas forem maior é a resolução (NOVO, 2011; ALMEIDA; MENESES, 2012).

A resolução radiométrica dos sensores é definida como a sensibilidade do sensor em detectar as diferenças da magnitude do sinal medido (SHIMABUKURO *et al.*, 2009). Quanto maior for a capacidade do detector para medir as diferenças dos níveis de radiância maior será a resolução radiométrica.

Finalmente a resolução temporal diz respeito ao período de revisita do satélite para determinada área. Esta última permite o ordenamento de um conjunto de imagens capturadas em diferentes períodos (ANTUNES, 2012). Deste modo possibilita a modelagem de cenários futuros considerando dados pretéritos assim como predizer características passadas com base nas atuais (ROCHA; CRUZ, 2009; YEGANEH *et al.*, 2014) constituindo em uma importante ferramenta para gestão dos recursos naturais.

O uso do sensoriamento remoto para análise de mudanças no uso da terra foi aplicado em 83% dos estudos revisados por Geldmann *et al.* (2013).

Atualmente as técnicas de interpretação de imagens de satélite são aplicadas a diferentes áreas como arqueologia (identificação de sítios arqueológicos), hidrologia (identificação da alteração na cor de volume da água de água), na geologia (feições geológicas, pesquisa mineral), na agricultura (levantamento de solos, identificação de culturas, controle e avaliação de culturas) e também na geografia para identificação e monitoramento da cobertura e uso da terra, análise de recursos naturais, expansão urbana (PANIZZA; FONSECA, 2011)

Na interpretação de imagens para fins de análise de uso e cobertura da terra são extraídas informações tomando por base elementos clássicos da fotointerpretação na identificação dos temas de interesse como cor, tonalidade, textura, sombra, tamanho relativo e outros (PONZONI; ALMEIDA, 1996; PANIZZA; FONSECA, 2011).

Duas metodologias são largamente empregadas para obtenção da classificação temática de uma imagem de SR: não supervisionada (distinção automática de classes) e supervisionada (operação manual na identificação de pixels) (EASTMAN, 2001; MOREIRA, 2005).

A técnica de classificação não supervisionada pode ser realizada através de métodos de agrupamento, através do qual se atribui aos pixels de uma imagem diferentes classes espectrais sem que haja conhecimento prévio destas pelo analista (RICHARDS; JIA, 1999). A partir da classificação automática dos dados o analista então identifica as classes e as associa a informações com base em referenciais disponíveis como mapas de solo, coletas de campo.

Na classificação supervisionada são utilizadas “áreas de treinamento”, baseando-se nestes elementos são adotados modelos estatísticos, de probabilidade ou determinísticos, para identificação de pixels similares ao conjunto de treinamento estabelecido (NOVO, 2011). Dentre os procedimentos destacam-se máxima verossimilhança (MAX VER), redes neurais artificiais e distância euclidiana (NOVO, 2011).

O método MAX VER é um dos mais empregados (LILLESAND *et al.*, 2014). Técnica esta que considera a maior probabilidade de um pixel pertencer a determinada classe, utilizando-

se para tal amostras de treinamento onde é possível estimar a distribuição de probabilidade de cada classe (RICHARDS; JIA, 1999).

De acordo com Moreira (2001) este tipo de classificação pode ser dividido em duas etapas distintas. A primeira, etapa de treinamento, onde são selecionadas amostras representativas da classe que se pretende identificar. Destas amostras são extraídos parâmetros, como média e matriz de covariância, aplicados para definir a qual classe pertencerá os *pixels* da área tratada. A segunda etapa é a classificação em que o pixel é associado a classe, baseada na regra de decisão criada pelo classificador na etapa anterior.

A técnica é tomada como satisfatória (BOLSTAD; LILLESAND, 1992), entretanto, ela não considera a possibilidade de o pixel possuir mais de uma classe de cobertura, forçando-o a classe que ele possuir maior similaridade (FOODY, 1999). Também Mather (1999) ressalta que a técnica assume a distribuição normal dos alvos, por essa suposição apresentar resultados razoavelmente bons, mesmo que essa não seja a distribuição da maioria dos dados na prática.

3.4. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA – IVDN

No campo de aplicações do sensoriamento remoto, os cientistas desenvolveram os índices de vegetação. O intuito base era reduzir o número de parâmetros presentes nas medidas multiespectrais (PERRY; LAUTENSCHLAGER, 1984), para avaliar qualitativa e quantitativamente as coberturas vegetativas (BANNARI *et al.*, 1996). Hoje é os índices vegetativos são aliados a diversas outras técnicas e parâmetros tornando-o uma importante ferramenta para avaliar as alterações naturais ou antrópicas no uso e cobertura da terra.

O índice de vegetação por diferença normalizada, IVDN, teve origem no estudo de Perry e Lautenschlager (1984) sendo posteriormente aplicado em estudos de perda de solo (RISSO *et al.*, 2007; CHEN *et al.*, 2011; VIJITH *et al.*, 2012; PEROVIC *et al.*, 2013; ZHANG *et al.*, 2013), mudanças no uso e cobertura da terra (MORAWITZ *et al.*, 2006.; MELO *et al.*, 2011; YEGANEH *et al.*, 2014; BERNARDO *et al.*, 2015), estudos sobre impactos antrópicos (REEVES; BAGGETT, 2014), mudanças climáticas (ZHANG *et al.*, 2013; CHEN *et al.*, 2014), reflorestamento (ECKERT *et al.*, 2015), hidro climatológicos (FU; BURGHER, 2015; SUN *et al.*, 2016), processos de desertificação (OMUTO *et al.*, 2011), fragilidade ambiental (GARÓFALO; FERREIRA, 2015) e outros.

Mais de cinquenta índices vegetativos foram estudados nas últimas duas décadas (MOREIRA, 2005), entretanto o índice mais utilizado é o IVDN que é ainda parâmetro de referência para avaliar o comportamento de novos índices, o que lhe confere posição de destaque entre os índices de avaliação vegetativa (BANNARI *et al.*, 1996).

O IVDN permite avaliar o “vigor vegetativo de culturas ou da vegetação natural” (CAMPBELL, 1987). Baseia-se na relação do comportamento espectral da vegetação nas bandas de infravermelho-próximo e vermelho dos sensores multiespectrais.

A Figura 2 representa um esquema clássico dessa relação para uma folha verde sadia representada por três regiões distintas: visível, infravermelho-próximo e infravermelho médio.

A região do visível é subdividida nas regiões azul, verde e vermelho, onde ocorre uma alta absorção dos comprimentos de onda pelos pigmentos vegetativos, clorofilas, carotenoides, e outras substâncias utilizadas no processo de fotossíntese. Na região do infravermelho próximo ocorre um aumento abrupto da reflectância espectral ocasionado pelo arranjo da estrutura interna da folha. Na região do infravermelho médio a quantidade de água dentro da folha explica o comportamento da curva (MORAES, 2002; PONZONI *et al.*, 2012).

O IVDN baseia-se na relação formada entre a reflectância na região do infravermelho próximo e a região vermelho do visível, destacando as áreas onde há vegetação. Nesta relação quanto mais próximo de 1 for o resultado o vigor vegetativo será maior, e quanto mais próximo a 0 menor o vigor ou maior a ausência vegetativa.

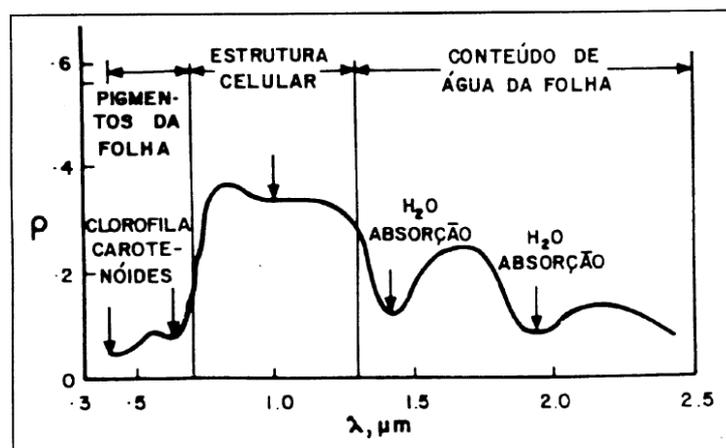


Figura 2 - Relação entre as reflectâncias de uma folha verde "sadia" e comprimentos de onda
Fonte: NOVO (1992).

De acordo com Abreu e Coutinho (2014) o entendimento da resposta espectral da vegetação pode ser uma boa alternativa para inferir ocorrências de supressão, aumento da

cobertura de vegetação, ou ainda redução de sua intensidade, e devido a isso os índices vegetativos têm sido aplicados em estudos de uso e cobertura da terra.

Explorando as potencialidades deste parâmetro Morawitz *et al.* (2006) utilizou o IVDN para avaliar as mudanças nas quantidades e padrões de vegetação em áreas fortemente impactadas pelo alto desenvolvimento. Os autores avaliaram 42 bacias hidrográficas em três períodos de cinco anos (total de quinze anos analisados) de 1986 a 1999 em escalas diferentes (regional e bacias).

Os autores identificaram que os três períodos analisados apresentaram alterações no padrão do IVDN em cerca de 20%, sendo que os fatores antrópicos foram identificados como propulsores das alterações como, por exemplo, a densidade populacional foi altamente correlacionada com a mudança negativa do IVDN ao longo de 15 anos ($r = 0,66$, $P < 0,01$), assim como a malha viária ($r = 0,71$, $P < 0,01$). Por fim, concluem que parte das bacias estudadas foi impactada pelos altos níveis de uso antrópico e de desenvolvimento.

Risso *et al.*, (2007) utilizaram imagens da família *Landsat* para comparar a variação da vegetação, obtidas do IVDN, com mapas de potencial natural de erosão, gerados através da equação universal de perdas de solos. Os resultados obtidos mostraram que altos valores de IVDN indicavam alta atividade fotossintética ou a presença de vegetação abundante, ao passo que baixos valores de IVDN tiveram resultados de baixa atividade fotossintética e consequentemente a presença de vegetação esparsa ou ausência total de vegetação, havendo correlação destas áreas com potencial natural a erosão.

Garófalo e Ferreira (2015) apresentaram a proposta de um procedimento metodológico para o mapeamento da fragilidade ambiental desenvolvido por meio de técnicas geotecnológicas de composição de planos de informação aplicado a APA Fernão Dias. Para isto os autores utilizaram as variáveis geoambientais: índice de vegetação, probabilidade de ocorrência de chuvas intensas, declividade do terreno, densidade de lineamentos estruturais e densidade de estradas. O resultado da pesquisa permitiu identificar áreas fragilizadas da APA estando estas associadas a presença da rodovia, áreas de expansão urbana desordenada, áreas de alta densidade de culturas anuais, pastagens degradadas e estradas vicinais sem pavimentação.

Melo *et al.* (2011) utilizaram o IVDN para mostrar as variações espaço temporais da cobertura vegetal e dos padrões de uso da terra na micro bacia Riacho dos Cavalos no Ceará. Os autores analisaram por meio do *software* Idrisi a cobertura vegetal da área em um intervalo entre 1979 e 2006. Com o IVDN eles conseguiram mostrar as variações das alterações da cobertura vegetal da micro bacia ressaltando o potencial dessa ferramenta para espacialização da perda de vegetação em função das atividades agropecuárias e do desmatamento.

3.5. ÍNDICE DE TRANSFORMAÇÃO ANTRÓPICA – ITA

O grau de modificação de áreas de proteção ambiental e de bacias hidrográficas pode ser obtido através do Índice de Transformação Antrópica (ITA). Este índice foi desenvolvido por Lèmechev (1982) e aplicado por Mateo (1984), Vicens (1997), Cruz *et al.* (1998), Nogueira *et al.* (2001), Teixeira e Cruz (2005), Ángeles e Gil (2006), Rocha e Cruz (2009), Pérez-Ortega (2011), Rodrigues *et al.* (2012), Gouveia *et al.* (2013), Cocco *et al.* (2014), Cocco *et al.* (2015), em estudos geocológicos com o objetivo de quantificar a pressão antrópica sobre algum componente do meio ambiente.

Basicamente o ITA é um indicador construído com a aplicação de geotecnologias que permitem identificar áreas degradadas em função do uso do solo e ainda analisar temporalmente a dinâmica das transformações antrópicas.

Ángeles e Gil (2006) analisaram o grau de transformação antrópica e o risco ambiental de uma bacia hidrográficas localizada na Sierra de la Ventana, Argentina, e consideraram os resultados derivados do ITA para identificar as áreas prioritárias para intervenção em função da degradação. Foram adotadas três categorias:

Baixa: a área analisada não apresenta usos da terra que produzem alterações significativas no funcionamento da paisagem

Média: alterações consideráveis são provocadas pelas atividades antrópicas, intensificando processos que afetam a qualidade ambiental, sendo necessárias medidas que revertam estes processos negativos.

Alta: As qualidades ambientais são afetadas pelo predomínio de atividades antrópicas que desequilibram o funcionamento da paisagem

Os resultados revelaram para os autores o grau de fragilidade da bacia analisada como consequência da falta de planejamento local e regional em que pontos de valores mais elevados de ITA foram coincidentes a áreas afetadas por eventos erosivos.

Na Baía da Guanabara, Teixeira e Cruz (2005) associaram dados morfométricos a dados espectrais obtidos do satélite *Landsat 7* de modo a obter o grau de degradação da baía, e identificar as pressões internas e externas sobre as unidades de conservação existentes na área. Para tal eles aplicaram o ITA, baseado na classificação digital quanto ao uso da terra, um indicador de cobertura vegetal e o fator topográfico em escalas diferentes. Os resultados do

estudo permitiram identificar as unidades de conservação onde as atividades humanas exercem maior influência e aquelas que ainda apresentam certo grau de preservação em sua volta.

Ao aplicar o ITA, Rodrigues *et al.* (2012), realizou uma análise multitemporal do uso da terra e da cobertura vegetal, a partir das ações antrópicas na vegetação ciliar dos cursos hídricos da bacia do Rio Queima-Pé/Mato Grosso. Para isso os autores empregaram imagens do satélite *Landsat 5* e aplicaram o ITA para quantificar o grau de antropização da bacia. O indicador detectou a influência negativa das alterações antrópicas sobre a conservação das matas ciliares e ainda a piora da degradação da bacia de estudo, de pouco degradada no intervalo de 1991 a 2001, para degradada no ano seguinte (2011).

Cruz *et al.* (1998) aplicaram o ITA na bacia hidrográfica da Baía de Guanabara e o correlacionaram com a qualidade da água das sub-bacias. Quanto ao método eles concluíram que o ITA se adaptou de forma satisfatória às técnicas de geoprocessamento e apresenta a vantagem de localizar as áreas mais modificadas, entretanto, possui a desvantagem de levar em consideração somente uma variável, o uso da terra. Contudo, os autores concluíram que o ITA mais elevado (área mais degradada) coincidiu com as áreas mais impactadas da bacia, correlacionando a dados químicos da água.

Pérez-Ortega (2011) efetuaram uma análise espaço-temporal a partir do ITA, na bacia do Córrego do Ipê no município de Ilha Solteira, nos anos de 2002 e 2011, utilizando para tal imagens do satélite *Landsat 7* e *5*, e fotografias aéreas dos respectivos anos. Os autores geraram uma análise espacial a partir do ITA que permitiu identificar a dinâmica do grau de antropização das bacias nos anos estudados (Quadro 1).

Quadro 1- ITA da Bacia do Córrego do Ipê

| ÁREAS ANTRÓPICAS NÃO AGRÍCOLAS | Áreas Urbanizadas (AU) | 2002 | | | | 2011 | | |
|--------------------------------|-------------------------|------|---------|--------|---------------|-------|--------|---------------|
| | | Peso | Área ha | Área % | Resultado ITA | Área | Área % | Resultado ITA |
| | Ripe urbana (RP) | 9,1 | 7,66 | 15,9 | 1,4469 | 7,85 | 16,3 | 1,4833 |
| ÁREAS ANTRÓPICAS AGRÍCOLAS | Cultura Temporária (CT) | 6,2 | 3,8 | 8 | 0,496 | 2,07 | 4,3 | 0,2666 |
| | Cultura Permanente (CP) | 8,1 | 3,6 | 7,5 | 0,6075 | 33,07 | 68,6 | 5,5566 |
| | Pastagem (P) | 5,4 | 30,9 | 64,2 | 3,4668 | 3,9 | 8,1 | 0,4374 |
| ÁREAS DE VEGETAÇÃO NATURAL | Floresta (F) | 0,2 | 1,1 | 2,3 | 000,46 | 0,62 | 1,3 | 000,26 |
| | Corpos de Água (CA) | 6,4 | 1,01 | 2,1 | 0,1344 | 0,67 | 1,4 | 0,0896 |
| | Total | | | | 6.6116 | | | 8,0935 |

Fonte: Perez-Ortega (2011)

Os resultados permitiram aos autores classificarem a bacia como degradada no ano de 2002 e muito degradada no ano de 2011. Segundo os autores essa classificação demonstra que o nível de transformação antrópica no uso da terra aumenta com os anos e que tem uma forte influência sobre a qualidade dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Córrego do Ipê.

3.6. AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO EM AMBIENTE SIG

A definição de áreas de interesse dentro da paisagem parte da importância de entender melhor a estrutura do ambiente, para que dessa forma possam ser estabelecidas medidas direcionadas, de modo a tornar o trabalho mais eficiente e obter resultados mais precisos.

Neste aspecto tem sido empregada a abordagem multicriterial. Segundo Valente (2005) neste processo, a tomada de decisão, chamada de critério, pode ser medida e avaliada a partir da definição de restrições e fatores, onde este último equivale as diferentes características e/ou processos de uma paisagem, importantes para a geração do mapa de prioridades. Tem como vantagem a possibilidade de ser representado como um mapa de formas contínuas, evitando a perda de informação e propagação de erros.

Ainda, de acordo com o autor, a representatividade das características da paisagem por fatores é assegurada pelo uso de pesos que descrevem a importância dos fatores fundando-se em um processo de tomada de decisão. Os pesos expressam a ordem de importância dos fatores no processo de decisão. As restrições exprimem as categorias restritivas das características.

O método mais promissor na atribuição de pesos, de acordo com Valente (2005), é realizado através da comparação par a par entre os fatores para determinar a importância relativa, fundamentado em Saaty (1977).

Neste processo, os valores derivam-se de uma escala de 1 a 9 em que o valor 1 indica que os dois critérios avaliados têm “igual” importância para o estudo, enquanto o valor 9 implica em que um critério é “extremamente” mais importante que outro (EASTMAN, 2001) (Tabela 2).

Tabela 2 - Escala Fundamental de Saaty

| Valores | Importância |
|---------|---------------------------------------|
| 1/9 | Extremamente menos importante que |
| 1/7 | Muito fortemente menos importante que |
| 1/5 | Fortemente menos importante que |
| 1/3 | Moderadamente menos importante que |
| 1 | Igualmente importante a |
| 3 | Moderadamente mais importante que |

| | |
|-----------|--------------------------------------|
| 5 | Fortemente mais importante que |
| 7 | Muito fortemente mais importante que |
| 9 | Extremamente mais importante que |
| 2, 4, 6,8 | Valores intermediários |

Fonte: Saaty (1997)

A Avaliação Multicritérios (AMC), aliada ao ambiente de SIG, pode ser realizada através dos métodos: booleano, combinação linear ponderada (CLP), análise de concordância (AC), processo hierárquico analítico (PHA), e outros (MALCZEWSKI, 2004).

O método mais empregado tem sido a CLP, de acordo com Voodg (1983) e Malczewski (2004). Neste método os critérios são padronizados para uma escala numérica em comum, recebem pesos, e são combinados por meio de uma média ponderada, sendo o resultado um mapa de prioridades (VALENTE, 2005).

Malczewski (2004) cita que a CLP e o método Booleano são considerados os mais diretos e mais frequentemente empregados nas análises de adequação do uso do solo a finalidades diversas, seleção e priorização de áreas e a problemas de avaliação de recursos. Ao mesmo tempo, segundo o autor, trata-se de um método de fácil implementação utilizando de operações algébricas em ambiente SIG, além de ser de fácil entendimento e intuitivo para tomadores de decisão.

Na área de definição de áreas para conservação e preservação pode se citar Valente (2005). Este autor determinou áreas prioritárias para conservação e preservação mata nativa com base nos critérios: proximidade entre fragmentos de maior área nuclear, proximidade a cobertura mata nativa, proximidade a rede hidrográfica, distancia da malha viária, distancia aos centros urbanos, e vulnerabilidade a erosão. Da metodologia empregada o autor concluiu que foi eficiente para definição de áreas prioritárias para conservação e preservação.

Vetorazzi (2006) comparou os métodos da combinação linear ponderada e da média ponderada ordenada, na geração de mapas de áreas prioritárias à restauração mata nativa, na bacia do Rio Corumbataí, SP. O autor empregou os fatores adequação do uso da terra, erodibilidade do solo, erosividade da chuva e proximidades à malha viária e à rede hidrográfica, todos representados como mapas matriciais, padronizados a uma escala única e contínua de 256 valores. O autor concluiu que a Avaliação Multicritérios, em ambiente SIG, foi adequada ao mapeamento de áreas prioritárias à restauração mata nativa e que o método da Média Ponderada Ordenada, foi o mais adequado principalmente devido sua flexibilidade.

Nossak *et al.* (2011) empregou a AMC na definição de áreas de recuperação visando a conectividade de fragmentos florestais integrando a partir do método de combinação linear

ponderada os fatores: proximidade da cobertura mata nativa, proximidade a rede hidrográfica, fator erodibilidade, e restrições. Para o autor a AMC foi adequada ao objetivo, e salienta que o incremento de outros fatores pode refinar a análise. Além disso, este método pode ser utilizado para outros objetivos que tenham enfoque de análise ambiental, como os exemplos que seguem.

Silva *et al.* (2016) realizaram um diagnóstico visando à determinação de áreas prioritárias à restauração mata nativa e manutenção hidrológica. Na escolha dos critérios e pesos para definição das áreas prioritárias à restauração mata nativa, associadas aos recursos hídricos da bacia, os autores empregaram a Técnica Participatória proposta por Eastman (2001), empregando os critérios uso e cobertura do solo e proximidade às nascentes. No uso e cobertura do solo os autores ranquearam as classes de acordo com a prioridade à restauração mata nativa: pastagem e solo exposto > cultivo de cana-de-açúcar > cultivo de citrus > floresta plantada > vegetação nativa.

Rosa *et al.* (2016) reuniram planos de informação de uso do solo e cobertura vegetal, e de declividade em ambiente SIG, para identificar áreas prioritárias para aplicação de pagamento por serviços ambientais. Para tal realizaram a tabulação cruzada para obter um mapa temático em faixas de prioridades.

O estabelecimento de áreas prioritárias para recuperação ambiental é um desafio principalmente quando se tratando de uma região de extensa área geográfica como a Serra da Mantiqueira. Neste sentido, podem ser utilizadas técnicas de reconhecimento de padrões de variáveis espaciais para que possam ser ordenadas as áreas mais propícias para projetos de recuperação ambiental (ARCOVERDE *et al.*, 2011). Esses mapas têm como vantagem possibilitar um manejo através da indicação de áreas prioritárias para recuperação podendo agregar para tal diferentes critérios.

3.7. AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DAS CLASSIFICAÇÕES

Mapas de uso e cobertura da terra podem ser obtidos por técnicas de classificação supervisionada em que o usuário estabelece e identifica as classes de uso, técnicas de classificação automática, sem intervenção do usuário em que se dá ao classificador o poder de distinção das classes, e ainda técnicas baseadas nas diferenças espectrais obtidas de indicadores como o IVDN (ABREU; COUTINHO, 2014)

As chamadas matrizes de confusão têm sido empregadas na avaliação da acurácia de classificações, e baseia-se na realização de um procedimento amostral no qual certo número de pontos de cada classe é verificado em campo ou em outro mapa de referência para comprovar ou não a atribuição correta das classes (PONZONI; ALMEIDA, 1996, SMITS *et al.*, 1999).

De acordo com Smits *et al.* (1999) o usuário de mapas de cobertura da terra precisa saber o quão exato o produto está para utilizar os dados cientemente. Ainda segundo os autores a acurácia descreve a proximidade de uma medição para o valor real da quantidade a ser medida sendo que um sistema de avaliação de qualidade deve ser capaz de dizer aos usuários finais o custo real da escolha de determinado conjunto de dados e técnicas de análise.

Uma das formas mais adotadas para analisar a precisão da classificação de dados de SR é através da construção de uma matriz de confusão (CONGALTON, 1991), onde são representadas as quantidades de elementos classificados de forma correta e incorretamente para determinados conjuntos de dados em cada uma das classes de um problema (DRUMMOND, 2007).

Para construção da matriz é necessário adotar amostras suficientemente representativas do conjunto de pixels do mapa temático. Por exemplo, Congalton (1988) sugere o valor mínimo de 50 amostras para cada categoria que tenha abrangência territorial de até aproximadamente 4.050 km², e 100 pontos caso a área avaliada seja muito extensa.

A matriz de confusão baseia-se na construção de uma matriz quadrada de amostras (grupo de pixels) estabelecidas em linhas e colunas, conforme Congalton (1991).

Da matriz de confusão são extraídos os índices para análise da acurácia. Como por exemplo, a acurácia do usuário ou erros de inclusão e a acurácia do produtor ou erros de omissão. A acurácia do usuário respalda-se na inclusão de uma área dentro de certa classe à qual ela não pertence na realidade, enquanto que, a acurácia do produtor, consiste na exclusão de uma área da classe à qual pertence realmente (CONGALTON, 1991).

São calculados ainda a Exatidão Global (BISHOP, 1975) que se baseia nos acertos entre referência e classificador, e ainda o Índice *Kappa* (COHEN, 1960; CONGALTON, 1991). Trata-se de uma técnica de multivariação popular na avaliação da acurácia (CONGALTON, 1991). A estimativa de *Kappa* é a chamada estatística KHAT e fornece uma medida que indica se a matriz de confusão é significativamente diferente de um resultado aleatório (SMITS *et al.*, 1999).

CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Serra da Mantiqueira e seu entorno compreende formações do Bioma da Mata Atlântica estende-se por 500 km desde as cabeceiras do Rio Camanducaia, no sul do estado, até a fronteira entre Minas Gerais e o Espírito Santo, a partir da cabeceira de afluentes do Rio Paraibuna divide-se em uma faixa de elevações prosseguindo até Juiz de Fora e outra até próximo da cidade de Santos Dumont.

A área de estudo tem 2.829.969 de ha de unidade territorial envolve os limites das APAS Fernão Dias e Mantiqueira e entorno até aproximadamente 30 km onde nascem importantes rios, compreende as coordenadas UTM 7440000 e 7600000 sul e 325000 e 600000 oeste de Greenwich, na zona 23S.

Os limites estão inseridos em 60% do estado de Minas Gerais, 30% de São Paulo e 10% do Rio de Janeiro compondo um total de 132 municípios, sendo que 33 pertencem as Áreas de Proteção Ambiental (Figura 3).

Atualmente, estima-se um total de 3.755.944 habitantes vivendo na área de entorno das APAS e 713.379 habitantes vivendo dentro dos limites das APAS, totalizando 4.469.323 habitantes. Segundo os dados populacionais do IBGE (2016), a área em questão teve um crescimento significativo da população nos últimos 30 anos. Somente no intervalo entre 1985 e 2005 houve um aumento de aproximadamente 40%.

Dos municípios verifica-se que o maior número de habitantes se situa em São José dos Campos no estado de São Paulo trecho do Rio Paraíba do Sul, na vertente do estado do Rio de Janeiro o município de Volta Redonda, e de Minas Gerais do Rio Sapucaí, Pouso Alegre. A maior concentração sobre o trecho do Rio Paraíba do Sul expressa grande pressão antrópica sobre os recursos.

A APA da Serra da Mantiqueira é uma Unidade de Conservação do tipo Sustentável criada pelo Decreto nº 91.304 de 03 de junho de 1985 em uma área de 421.804, 4600 ha com objetivo de conservar o conjunto paisagística da serra e a cultura regional existente. Inserem-se nesta APA os municípios de Aiuruoca, Alagoa, Baependi, Bocaina de Minas, Delfim Moreira, Itanhandu, Itamonte, Liberdade, Marmelópolis, Passa Quatro, Passa Vinte, Piranguçu, Pouso Alto, Santa Rita do Jacutinga, Virgínia e Wenceslau Brás, no Estado de Minas Gerais; Campos do Jordão, Cruzeiro, Lavrinha, Pindamonhangaba, Piquete, Santo Antônio do Pinhal e Queluz, no Estado de São Paulo e Resende no Estado do Rio de Janeiro. Além destes, o município de São

bento do Sapucaí, no Estado de São Paulo, passou a integrar a APA da Serra da Mantiqueira, de acordo com a Lei nº 9.097 de 19 de setembro de 1995.

A APA Fernão Dias também é da categoria de Uso sustentável criada pelo Decreto estadual 38.925 de 17 de julho de 1997 em uma área aproximada de 180 mil ha, situada nas bacias hidrográficas dos rios Jaguari, Sapucaí – Mirim e Sapucaí. A criação da APA Fernão Dias compõe o conjunto de medidas compensatórias para minimização das perdas ambientais decorrentes da duplicação da rodovia federal Fernão Dias BR-381 que intercepta o perímetro da APA, sentido Norte-Sul em extensão de aproximadamente 38 km (HORN, 2001).

Dentre os objetivos desta APA estão a conservação dos recursos hídricos das bacias dos Rios Piracicaba/Jaguar, Sapucaí (rios Sapucaí – Mirim e Vargem Grande) nas porções inseridas na APA e a sensibilização das comunidades para fins de proteção da bacia do rio Jaguari e Camanducaia ou Guardinha, contribuintes do rio Piracicaba, que tem como beneficiário o sistema de abastecimento de água – Sistema Cantareira. Conforme Decreto estadual fazem parte desta UC os municípios de Minas Gerais: Toledo, Extrema, Itapeva, Camanducaia, Sapucaí Mirim, Gonçalves, Paraisópolis e Brasópolis.

Na área de estudo localizam-se outras 21 UCS de diferentes categorias, apresentadas na Tabela 3 com a localização mostrada na Figura 4, onde a sigla ID da tabela refere-se a identificação atribuída a cada UC no mapa. No total as UCS ocupam 35% da área total. Somente APA Federal Serra da Mantiqueira abrange 377.000 ha (unidades de gestão- Alto Grande, Verde e Sapucaí), sendo 12% da área de estudo. Enquanto a APA Fernão Dias, tem área aproximada de 180.000 ha, 6% da área total. Das áreas protegidas somente a APA Piracicaba Juquerí-Mirim compreende o Bioma do Cerrado, as demais compreendem regiões da Mata Atlântica

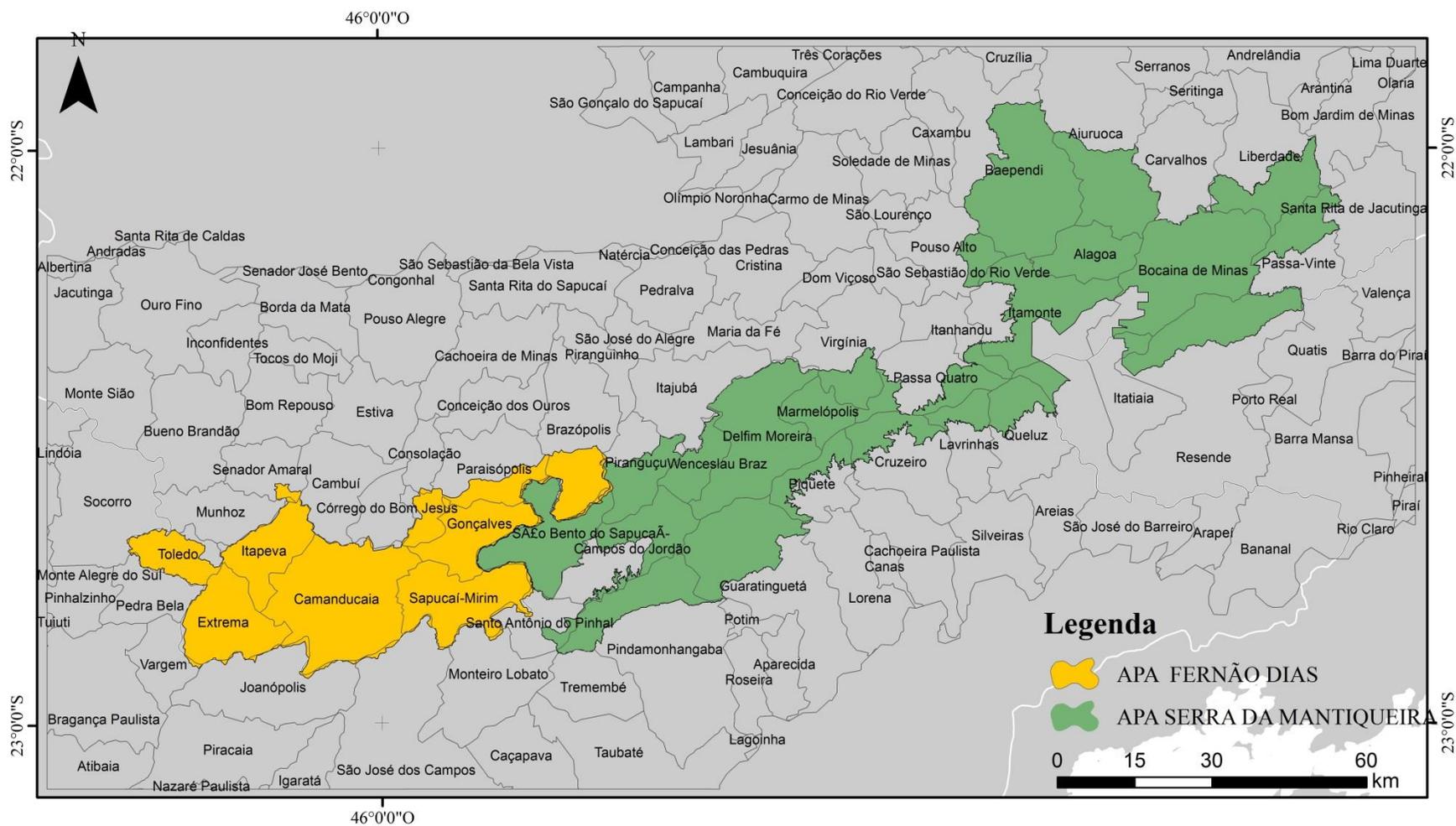


Figura 3 - Municípios da área de estudo.

Tabela 3 - Categorias das Unidades de Conservação da área de estudo.

| ID | CATEGORIA/NOME | GRUPO |
|-----------|-----------------------------------|-------------------|
| A | APA Bacia do Paraíba do Sul | Uso sustentável |
| B | APA Campos do Jordão | Uso sustentável |
| C | APA Fernão Dias | Uso sustentável |
| D | APA Piracicaba Juquerí-Mirim | Uso sustentável |
| E | APA Represa Bairro da Usina | Uso sustentável |
| F | APA São Francisco Xavier | Uso sustentável |
| G | APA Sapucaí Mirim | Uso sustentável |
| H | APA Serra da Mantiqueira | Uso sustentável |
| I | APA Silveiras | Uso sustentável |
| J | APA Sistema Cantareira | Uso sustentável |
| K | ARIE Pedra Branca | Uso sustentável |
| L | ARIE Floresta da Cicuta | Uso sustentável |
| M | EE Bananal | Proteção integral |
| N | FN Lorena | Uso sustentável |
| O | FN Passa Quatro | Uso sustentável |
| P | MN Estadual da Pedra do Baú | Proteção integral |
| Q | PE Pedra Selada | Proteção integral |
| R | PE Campos do Jordão | Proteção integral |
| S | PE Mananciais de Campos do Jordão | Proteção integral |
| T | PE Nova Baden | Proteção integral |
| U | PE Serra do Papagaio | Proteção integral |
| V | PE Serra da Bocaina | Proteção integral |
| X | PE Itatiaia | Proteção integral |

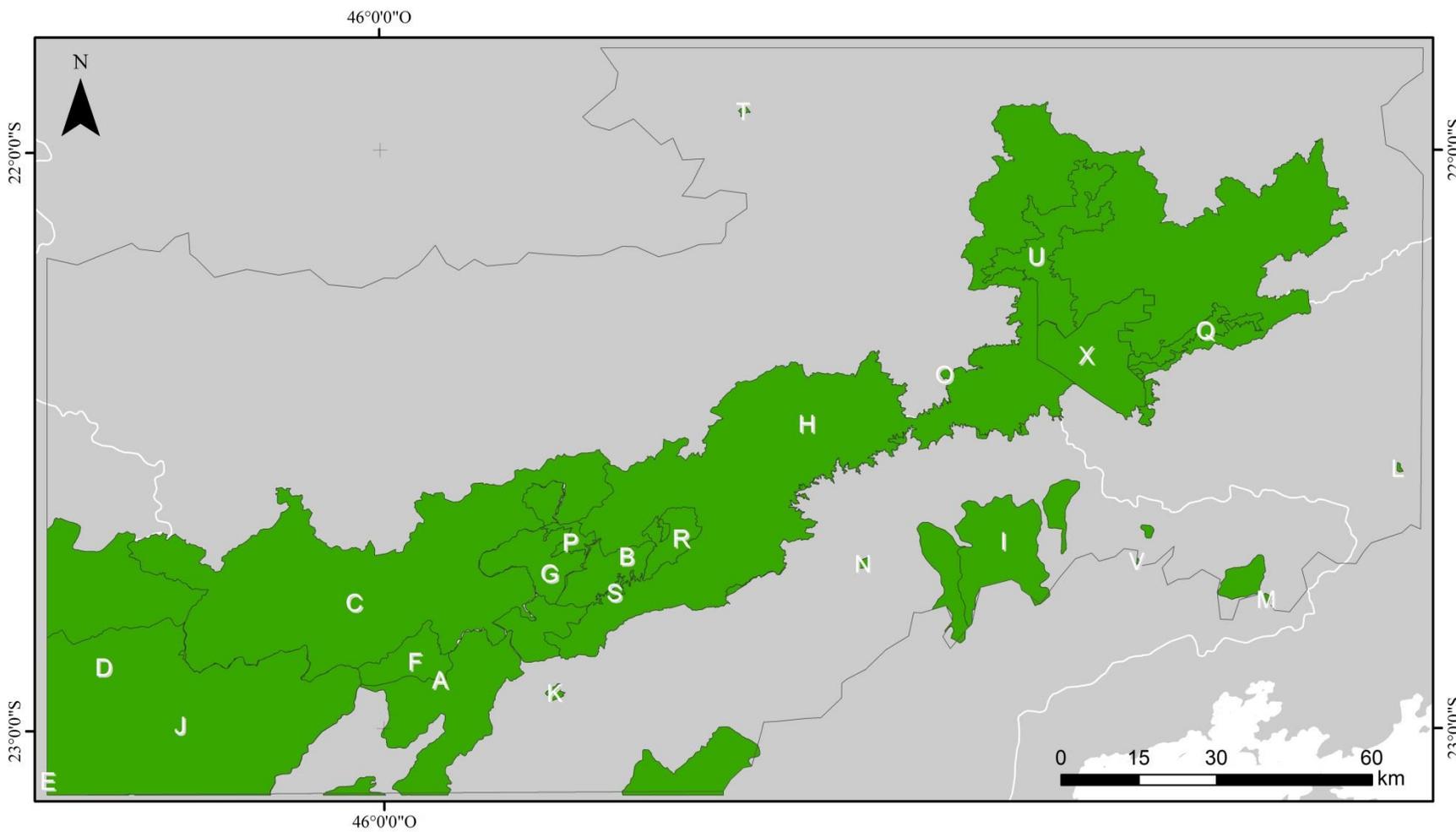


Figura 4 - UCS da região.

4.1.1. HIDROGRAFIA

As APAS estão localizadas no ponto central das bacias hidrográficas do Rio Grande, Piracicaba/Capivari/Jundiá (PCJ) e Paraíba do Sul na porção Sudeste do Brasil, região da Bacia Hidrográfica do Rio Paraná e parte da bacia do Atlântico Trecho Leste.

No total a área de estudo está inserida em dez unidades de gestão de recursos hídricos sendo elas: Alto Grande, Mogi-Guaçu, Mantiqueira, Paraíba do Sul nas vertentes do Rio de Janeiro e São Paulo, Piracicaba, Capivari e Jundiá, Mogi-Guaçu e Pardo, Sapucaí, Verde e Preto e Paraibuna.

A Figura 5 mostra a localização de três dos principais rios que nascem na região da Serra da Mantiqueira, o Rio Aiuruoca o formador da bacia do Rio Paraná, o Rio Paraíba do Sul que abastece parte do Rio de Janeiro e o Rio Jaguari o principal contribuinte no abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

A bacia do Rio Jaguari abrange Toledo, Itapeva, Extrema, Camanducaia e o extremo oeste de Sapucaí-Mirim estendendo-se por 115.550 ha com suas nascentes localizadas no município de Sapucaí-Mirim em altitude de 1500 m (MMA/IBAMA, 2008). Este rio abastece o Sistema Cantareira, considerado o maior da América Latina, produzindo água para 50% da RMSP (ISA, 2006). Em virtude da abrangência do sistema e importância como principal contribuinte do Sistema Cantareira e do rio Piracicaba, o rio Jaguari é considerado Rio Federal (MMA/IBAMA, 2008).

Na bacia do Rio Jaguari ocorre a interferência de diversas atividades antrópicas como áreas agrícolas e de pastagem com ausência de manejo adequado. Soma-se a isto áreas de mata ciliares fragmentadas e trechos onde ocorre ausência desta nos cursos dos rios. Tais agravantes podem, quando aliados a processos erosivos, exercer influência direta na produção de sedimentos dentro do canal (MMA/IBAMA, 2008).

Em função dos impactos provocados pela antropização foram implantados na área de estudo projetos baseados nos termos do pagamento por serviços ambientais (PSA). O Projeto nomeado “Conservador de Águas”, atua a 10 anos na restauração da vegetação nativa de áreas de APP e RL da bacia do Jaguari, além de incentivar a adoção de práticas para conservação do solo (construção de terraços, bacias, adequação de estradas). Estima-se a restauração de cerca de 1 milhão de árvores (PEREIRA *et al.*, 2010). Outros dois projetos de PSA existem na região de estudo o Programa Produtor de Água na bacia do PCJ e Programa Produtor de Água em Guaratinguetá.

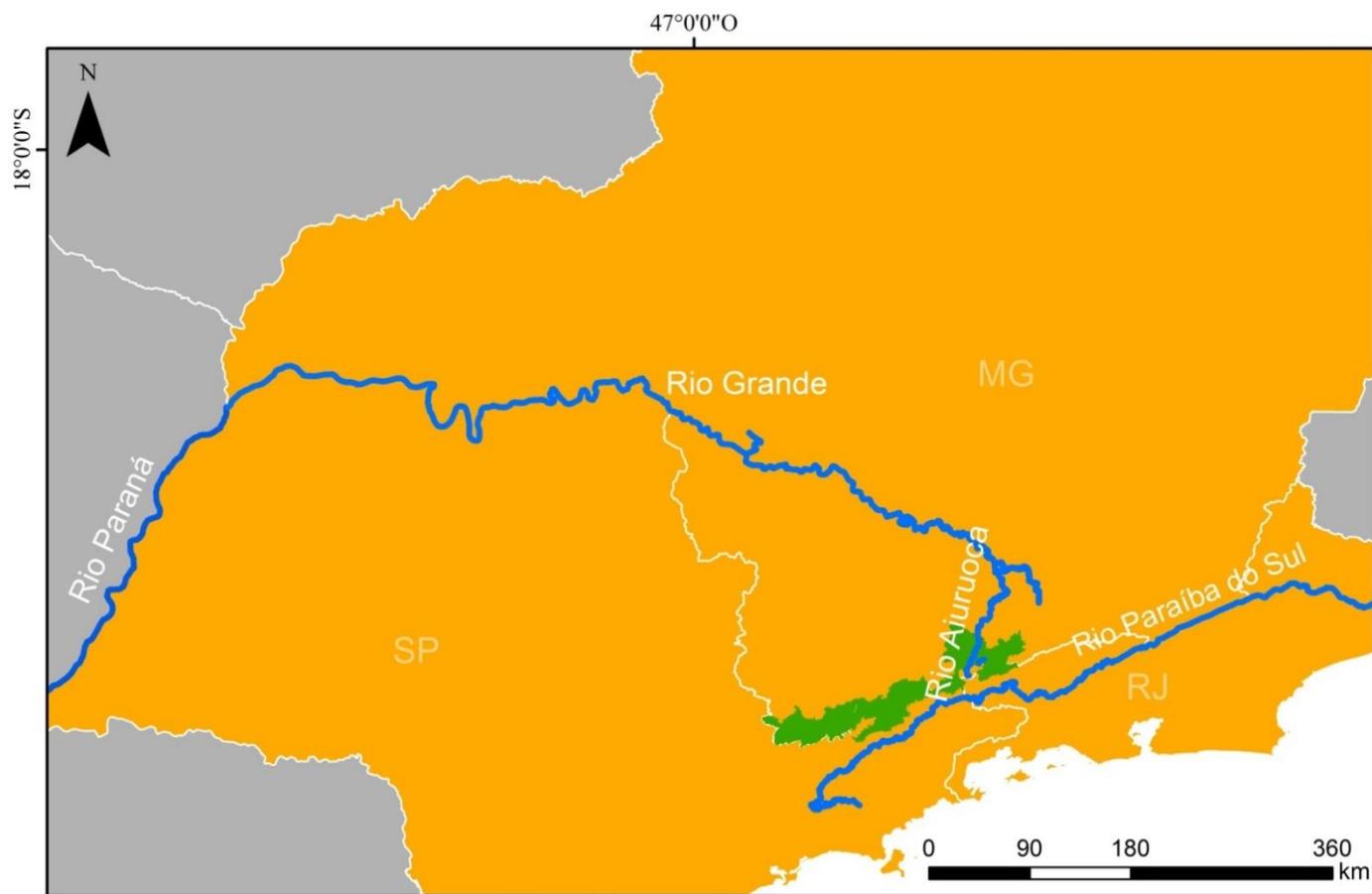


Figura 5 - Principais rios que cortam a região de estudo.

4.1.2. CLIMA

Segundo De Mello *et al.* (2007) Minas Gerais é um estado recortado por extensas cadeias de montanhas, atingidas frequentemente por massas de ar provenientes do extremo sul do continente e da região equatorial, sendo, portanto, afetado por precipitações de origem orográfica e ciclônica, tanto de frentes polares, com chuvas duradoras e de baixa a média intensidade, quanto de frentes quentes e úmidas de origem Amazônica.

A região é caracterizada como zona de transição entre climas quentes de latitudes baixas e os mesotérmicos das altas, com estações bem definidas de seca no inverno e chuva no verão (MMA/IBAMA, 2008).

De acordo com o Ab' Saber (2007) a região da Serra da Mantiqueira pertence ao domínio chamado “Mares de Morros” com padrões climáticos associados aos fatores geográficos como o relevo e a latitude produzindo desigualdades especialmente nos regimes de chuva e temperatura. Tal fato faz com que os padrões climáticos variem com maior ou menor peso nas regiões do estado de Minas Gerais (DE MELLO *et al.*, 2007).

Na região de estudo ocorrem os quatro subtipos da classificação climática de Köppen Cwa, Cwb, Cfa e Cfb. O subtipo Cwa ocorre nas partes mais baixas compreendendo a região do Vale do Paraíba, sendo tropical de altitude, com inverno seco e temperatura no mês mais quente maior que 22° C. O subtipo Cfa ocorre na região sudoeste e em alguns pontos a leste do Paraíba, sendo sub-tropical, sem estação seca e temperatura do mês mais quente maior que 22° C. O subtipo Cfb predomina no sudoeste e noroeste da APA da Serra da Mantiqueira e grande parte da APA Fernão Dias, sendo sub-tropical, sem estação seca e temperatura do mês mais quente menor que 22° C. O subtipo Cwb ocorre nas regiões de maior altitude, alto das cabaceiras e parte norte da Serra, sendo tropical de altitude, com temperatura do mês mais quente menor que 22 °C, com inverno frio e seco e chuvas elevadas no verão.

Segundo a Agência PCJ (2016) predomina na região temperaturas médias anuais entre 17°C e 20°C, registrando-se temperaturas abaixo de 0°C nas grandes altitudes da região no período de inverno, com geadas frequentes nos meses de junho, julho e agosto bem como temperaturas em torno dos 30°C durante o verão registrando-se inclusive chuvas intensas no período de janeiro, fevereiro e março, principalmente.

O volume médio anual de precipitação sobre a região varia entre 1100 mm e 1500 mm, apresentando umidade relativa média de 82%, com registros de até 2.000mm anuais

na região da Mantiqueira onde nasce o Rio Piracicaba, à leste da cidade de Bragança Paulista (PCJ, 2016).

4.1.1. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

O sistema de montanhas da Mantiqueira pertence ao domínio morfoclimático dos cinturões móveis neoproterozóicos (IBGE, 2006). Segundo Pinto (1991) o cinturão da Mantiqueira caracteriza-se como uma entidade geotectônica transamazônica posicionada entre o Cratón do São Francisco e a faixa costeira meso-neoproterozóica, sendo representada principalmente por terrenos granulíticos.

De acordo com Heilbron *et al.* (2004) o orógeno da Mantiqueira desenvolveu-se, durante a Orogenia Neoproterozóica Brasileiro-Pan Africana a qual resultou na amalgamação do Paleocóntinente Gondwana Ocidental. Os autores dividiram cada orógeno em: a) rochas do Embasamento mais antigas que 1.7 Ga, b) sucessões intracrâtonicas Paleoproterozóicas a Mesoproterozóicas, c) sucessões de margem passiva Neoproterozóicas, d) arcos magmáticos associados a configurações de margem continental intraoceânica e ativa (790 Ma a 585 Ma), e) granitóides sin-colisionais relacionados a diferentes episódios colisionais, f) sucessões sedimentares orogênicas tardias e magmatismo bimodal.

De acordo com Ab'Saber (2007) a região compreende os “Mares de Morros Florestados”, área de vertentes arredondadas com presença da mais forte decomposição de rochas cristalinas, nos meandros ocorrem depósitos de sedimentos finos, havendo ainda presença de solos superpostos.

Na região predominam terrenos colinosos, cujas cotas altimétricas variam entre 800 a 2.800 metros, cobertos originalmente pela Mata Atlântica. O relevo de altas colinas e de morros baixos associa-se a setores onde ocorrem planaltos e depressões (DA SILVA, 2008).

Os planaltos compreendem terrenos ondulados a montanhosos de superfícies residuais, soergidas por processos tectônicos que resistiram a ação de processos erosivos e de aplainamento, atuantes durante o período Cenozóico Superior (DA SILVA, 2008). As cristas e cumeadas são seguidas de escarpamentos abruptos intensamente dissecados pela erosão em direção a unidade Planalto Sul de Minas. Os pontos mais elevados da serra são marcados pelo Pico das Agulhas Negras que chega a cerca de 2.787 metros, e o Pico da Mina 2.794 metros (HERRMANN, 2008).

As depressões compreendem as colinas, morros baixos e morretes com vertente convexo-côncavas, em gradientes suave a médio com topos arredondados e subnivelados. Apresentam-se embutidas entre os planaltos, originadas por influência do rebaixamento tectônico, a partir da abertura do Atlântico e do soerguimento da Mantiqueira e Serra do mar, durante o final do Cretáceo e o Terciário (DA SILVA, 2008).

A área onde as APAS foram criadas é formada por unidades do Pré – Cambriano (Arqueano e Proterozóico), Paleozóico e Cretáceo de rochas de origem ígnea e metamórficas. Nas unidades do Pré – Cambriano há formação do Arqueano litotipo de ortognaisse no complexo Mantiqueira. Do Proterozóico formaram-se as unidades de Andrelândia quartzítica, xistos e paragnaises, migmatitos Alagoa, migmatitos paraderivados nebulíticos ou schilieren; unidade Embu – paragnáissica; granitoides incluídos nos complexos Cantagalo, Gonçalves, Marins, Serra Preta, Serra do Alto da Pedra, Serra do Lobo, Serra dos Coelho, e o complexo granítico Socorro Suíte Bragança Paulista; suíte Suíte Pouso Alto; unidades Varginha Guaxupé foram subdivididas nas unidades granulítica basal, ortognáissica migmatítica intermediária e paragnáissica migmatítica superior. Do Fanerozóico formaram-se os complexos alcalinos de Itatiaia e de Passa Quatro.

A unidade Andrelândia quartzítica ocorrem litotipos de muscovita quartzito e quartzo metarenito em 1,75% da área total. Em Andrelândia xistos e paragnaises, ocorre o xisto luminoso em 7,72% da área. E em migmatitos Alagoa, migmatitos paraderivados nebulíticos ou schilieren ocorrem litotipos diatexitos e gnaisse em 10,76% da área. A unidade Embu- paragnáissica é representada pela biotita gnaisse em 1,74% da área total. Os granitoides de diferentes complexos ocorrem principalmente a biotita ocupando 18,28% das APAS. Suíte pouso alto é formada por litotipo leucogranito (10,58% da área total). Socorro- suíte Bragança Paulista é formada por rochas granodiorito e monzonito em 2,28% das APAS, enquanto Suíte pouso alto é formada por litotipos leucogranito (10,58% da área total). Nos complexos alcalinos do Fanerozóico ocorrem nefelina sienito em Itatiaia, e tinguaito, nefelina sienito em Passa Quatro, somando 2,82% das APAS.

Por fim, o complexo Varginha-Guaxupé ortognáissica migmatítica intermediária é formada por Albita anatexitos, Gnaisse granítico, Orognaissite tonalítico, Migmatito estromático (21,70% da área total) e as rochas da unidade Varginha – Guaxupé paragnáissica migmatítica superior são Biotita gnaisse, Mica xisto, Paragnaisse (21,05% do total). Este complexo é o mais representativo se estende por 42,75% da superfície de APAS.

4.1.2. PEDOLOGIA

De acordo com a Embrapa (2003) no domínio de Mares de Morros ocorre a formação de solos espessos como Argissolo e Latossolos, em condições de intenso intemperismo químico, submetidos a efetiva atuação de processos erosivos.

Na área das APAS são encontrados os seguintes tipos de solos de acordo com a classificação adotada pela Embrapa (2003): CX3 – cambissolo háplico Tb distrófico A; CX14 - cambissolo háplico distrófico plíntico A; LVA9 – latossolo vermelho-amarelo distrófico A; LVA18 – latossolo vermelho-amarelo distrófico plíntico A; LVA30 – latossolo vermelho-amarelo distrófico e álico; LV51 – latossolo vermelho distrófico; PVA39 – argissolo vermelho-amarelo distrófico.

Enquanto que no entorno ocorrem ainda CX4 - cambissolo háplico Tb distrófico plíntico A; CX7 - cambissolo háplico distrófico plíntico A; LV25 – latossolo vermelho distrófico; LV37 – latossolo vermelho distrófico; PVA9 – argissolo vermelho-amarelo distrófico; PVA80 – argissolo vermelho-amarelo eutrófico.

Segundo Pinto (1995) o alto da Serra da Mantiqueira é caracterizado pela presença de substratos rochosos, no domínio gnáissico ocorrem normalmente latossolos vermelho-amarelo álicos. Estes são classificados como solos antigos, espessos com horizontes pouco diferenciados, com predomínio de argila e saturados de alumínio. Nas áreas de depressão os quartzitos são essencialmente arenosos com presença de matéria orgânica de característica hidro mórfica. Sobre as rochas máficas e ultramáficas ocorrem o latossolo vermelho –tijolo, argilosos aparentemente saturados de ferro.

Coelho Netto (2003) destacam que em especial na região da bacia do Paraíba do Sul, a paisagem heterogênea e instável submetida a rápidas mudanças ambientais que condicionam a altas taxas de erosão e deposição nas encostas e fundos de vales, enquanto que nas regiões de montanha, sob espessa sedimentação quaternária, prevalecem erosões lineares. De modo geral, Benites *et al.* (2003) classifica os solos da região da Mantiqueira como pouco desenvolvidos, pobres em nutrientes, possuem elevados teores de alumínio trocável, acúmulo de matéria orgânica nas camadas superficiais, pouca espessura e textura predominantemente arenosa, o que confere um relevo movimentado com tendência a processos erosivos.

4.1.3. VEGETAÇÃO

A Serra da Mantiqueira é composta originalmente pela Floresta de Mata Atlântica, e em alguns trechos ocorrem partes de Cerrado e Campo de Cerrado. A Mata Atlântica da região possui padrões vegetativos que se relacionam diretamente as condições climáticas, padrões geomorfológicos, modelos fisiogeográficos e formações pedológicas, originando variantes fisionômicas, estruturais e florísticas muito distintas (OLIVEIRA-FILHO; FONTES, 2000).

De acordo Veloso *et al.* (1991) na faixa entre 30 metros até 400 metros encontram-se as vegetações do tipo submontana, entre 400 até 1.000 metros as vegetações do tipo montana e acima deste limite predomina a alto montana. Diferentes denominações foram atribuídas a vegetação e ao ecossistema de altitude da Serra da Mantiqueira. Conforme mostrado por Benites *et al.* (2003 *apud* Barreto, 1994; Rizzini, 1963; Joly, 1970; Rizzini, 1979; Ferri, 1980; Elter, 1983; Veloso, Rangel Filho e Lima, 1991) foram propostos os termos: “Campos Alpinos”, “Campos Altimontanos”, “Campos Rupestres”, “Campos Quartizíticos”, “Campos Rupestres” e “Campos de Altitude”; “Campo Rupestre “ e “Campo Montano”; “Refúgios Vegetacionais ou Relíquias da Vegetação”; “Complexos Rupestres de Altitude”, sendo este último adotado por Benites *et al.* (2003) propriamente. Cabe ainda dizer que também ocorre na região as Florestas de Araucárias, formações características em áreas de clima frio dos estados brasileiros. Este tipo de vegetação é adaptado principalmente a faixas acima dos 800 metros de altitude.

A área de entorno das APAS é ocupada principalmente por pastagens, remanescentes da mata de galeria, araucárias (IGAM, 2015). Ocorre ainda culturas, principalmente de batata e milho, e a criação de gado leiteiro.

A faixa leste-sul da serra é hoje a mais preservada, representada por fragmentos em topos de morros e vertentes íngremes. Nestas áreas caracteriza-se um ecossistema de propriedades particulares e que se difere de outros regionais em função das características do solo, flora e fauna apresentando alta biodiversidade e quantidade de organismos endêmicos (BENITES *et al.*, 2003). No entorno, as pressões antrópicas sobre a vegetação nativa, as expansões agropecuárias e urbanas contribuíram no desmatamento das áreas naturais, necessitando, portanto da delimitação de áreas para a recuperação ambiental.

4.2. MATERIAIS

Foram utilizadas imagens da série *Landsat*, abrangendo a Serra da Mantiqueira e entorno, nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015. Deu-se preferência para imagens registradas no período de estiagem por apresentarem menor cobertura de nuvens que períodos chuvosos. A família de satélites *Landsat* está em órbita desde 1972, devido a isto construiu-se um robusto banco de imagens para serem empregadas em estudos de mudanças espaciais-temporais (XIE, 2008; SCHROEDER *et al.*, 2006).

Para compor o período histórico analisado (1985 até 2015) foi necessário utilizar cenas de dois satélites: *Landsat 5* para o período de 1985 a 2010 e *Landsat 8* para o ano de 2015. Na Tabela 4 constam as características das imagens orbitais, ano, satélite, órbita/ponto e o mês de referência da captura da imagem.

Para compor o território construiu-se um mosaico para cada ano a partir de quatro cenas do satélite *Landsat*. Na fase de processamento foi realizado o registro das imagens para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas ano 2000 (SIRGAS 2000). A etapa de registro envolveu a identificação de pontos de controle para adequação ao sistema de referência. Para tal foi utilizada como base a imagem do satélite *Landsat 8* por já ser fornecida ortorretificada pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2016).

Tabela 4 - Características das imagens orbitais

| Ano | Satélite | Sensor | Órbita / Ponto | Mês de referência |
|------|------------------|--------|----------------|-------------------|
| 1985 | <i>Landsat 5</i> | TM | 218 / 075 | Maio |
| | | | 218 / 076 | Julho |
| | | | 219 / 075 | Julho |
| | | | 219 / 076 | Agosto |
| 1995 | <i>Landsat 5</i> | TM | 218 / 075 | Agosto |
| | | | 218 / 076 | Agosto |
| | | | 219 / 075 | Agosto |
| | | | 219 / 076 | Agosto |
| 2005 | <i>Landsat 5</i> | TM | 218 / 075 | Abril |
| | | | 218 / 076 | Agosto |
| | | | 219 / 075 | Julho |
| | | | 219 / 076 | Agosto |
| 2015 | Lansat 8 | OLI | 218 / 075 | Abril |
| | | | 218 / 076 | Maio |
| | | | 219 / 075 | Agosto |
| | | | 219 / 076 | Maio |

O procedimento de registro, a equalização das cenas, construção dos mosaicos e composição colorida das imagens, foram realizados no *software* Erdas. Este tem como vantagem a utilização de um algoritmo automático na fase de correção geométrica das imagens que gera milhares de pontos de controle/amarração reduzindo de modo significativo possíveis erros sucedidos da coleta manual de pontos (ERDAS, 2008).

De acordo com Erdas (2008) a correção geométrica deve ser altamente precisa isto porque o desalinhamento de recursos em mesmo local pode retornar falsos resultados. Em outras palavras, quanto maior o número de pontos sincronizados entre as imagens, menor é o erro de distorção e melhor será a sobreposição de bandas e comparação das imagens temporais.

Para cada ano estudado foram utilizadas 4 cenas de imagens, com 3 bandas cada uma totalizando 48 bandas de satélite registradas e equalizadas para comporem ao final 4 mosaicos de imagens (1985, 1995, 2005 e 2015). Após as correções foi feita a composição colorida falsa cor.

A falsa cor é obtida para o satélite *Landsat 5* através das bandas 5,4,3 e no *Landsat 8* as bandas 6,5,4 (Tabela 5) (USGS, 2016). Esta composição foi escolhida por mostrar mais claramente os limites entre solo, água e vegetação e por apresentar forte semelhança com as cores da natureza e em consequência facilitar a interpretação da cobertura e do uso da terra (IBGE, 2013). Por fim, as cenas foram recortadas com os limites definidos por uma máscara da área de estudo.

Tabela 5 - Combinação de bandas de imagens de satélite da família *Landsat*.

| Resultado das composições | <i>Landsat 7</i> | <i>Landsat 5</i> | <i>Landsat 8</i> |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Infravermelho | 4,3,2 | | 5,4,3 |
| Cores Naturais | 3,2,1 | | 4,3,2 |
| Falsa Cor | 5,4,3 | | 6,5,4 |
| Falsa Cor | 7,5,3 | | 7,6,4 |
| Falsa Cor | 7,4,2 | | 7,5,3 |

Fonte: Traduzido de USGS (2016).

Na Tabela 6 consta a base cartográfica do trabalho, arquivos em formatos *raster* e *vetoriais* utilizados, respectivas escalas e *datum* de origem além da fonte de coleta da informação.

Tabela 6 - Base cartográfica

| Dado | Formato | Escala da fonte | Origem | Fonte |
|---|----------------|------------------------|---------------|------------------------------|
| Limite APAS | Vetorial | 1:250.000 | WGS 84 | (ICMBIO, 2016) |
| Malha municipal | Vetorial | 1:1.000.000 | SAD 69 | (IBGE, 2010) |
| Malha viária | Vetorial | 1:1.000.000 | SIRGAS 2000 | (DNIT, 2015) |
| Sub-bacias | Vetorial | 1:1.000.000 | SAD 69 | (ANA, 2016) |
| Cursos d'água | Vetorial | 1:1.000.000 | SAD 69 | (ANA, 2016) |
| Declividade | Raster | 90 metros (SRTM) | WGS 84 | (MIRANDA, 2005) |
| EUPS | Raster | 1:150.000 | SIRGAS 2000 | (DA SILVA, 2016) |
| Geologia | Vetorial | 1:1.000.000 | WGS 84 | (CRPM, 2010) |
| Pedologia | Vetorial | 1:1.000.000 | WGS 84 | (Projeto Radam Brasil, 1983) |
| Imagens <i>Google Earth</i> versão (7.1.5.1557) | Raster | 1:50.000 | WGS 84 | (GOOGLE, 2016) |

Foi realizada uma coleta de dados em campo auxiliada por equipamento de posicionamento global (GPS) para reunir dados e informações para compor o mapa de uso da terra e reconhecer a área de estudo.

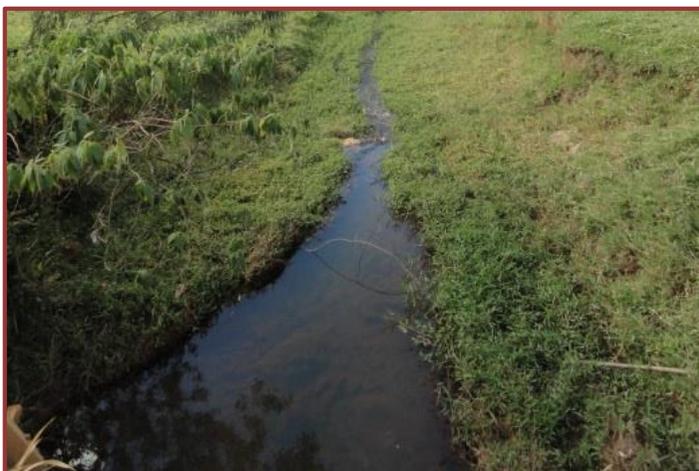
A campanha de levantamento de dados foi realizada no município de Extrema, Minas Gerais, Sub-Bacia do Ribeirão das Posses, região pertencente à APA Fernão Dias no dia 15 de maio de 2015. As Figuras 6 e 7 mostram as registradas em campo e as coordenadas geográficas anotadas em cada ponto.



Ponto 1: Classe Solo exposto / Coordenadas UTM 371341.262541;
7472316.80488



Ponto 2: Classe Pastagem / Coordenadas UTM 372276.904204;
7470885.31782



Ponto 3: Classe Água / Coordenadas UTM 372278.774174;
7470663.88539



Ponto 4: Classe Urbano / Coordenadas UTM 372279.709217;
7470553.16916

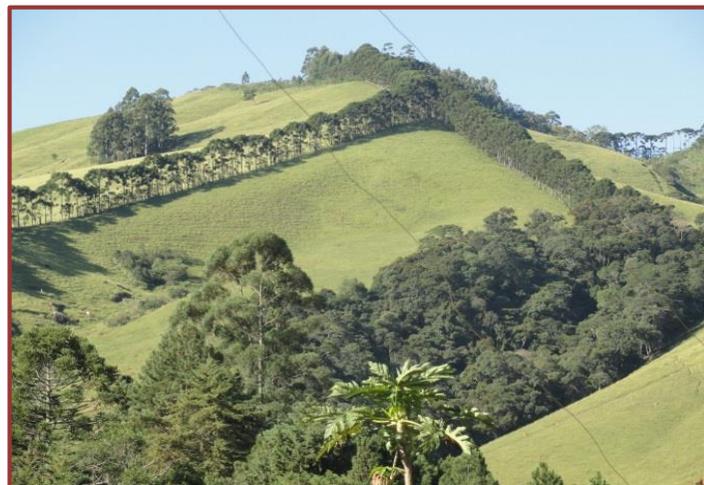
Figura 6 - Registros fotográficos Ponto 1 ao Ponto 4.



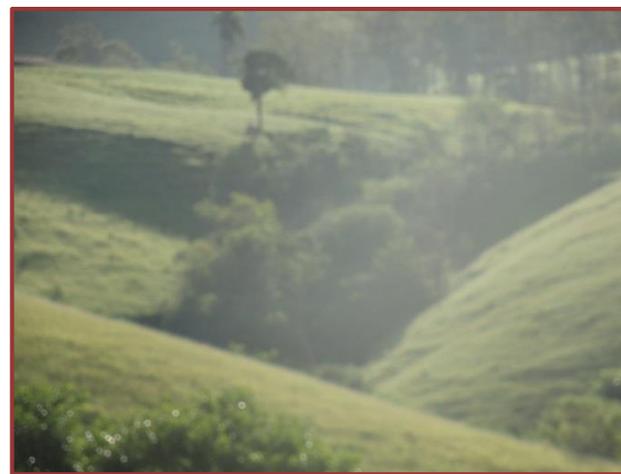
Ponto 5: Classe Eucalipto Coordenadas UTM 372180.854844;
7470109.43713



Ponto 6: Classe Eucalipto / Coordenadas UTM
371884.331375; 371884.331375



Ponto 8: Classe Área florestada / Coordenadas UTM 373486.818221;
7473442.1256



Ponto 7: Classe Área florestada / Coordenadas UTM
371881.515475; 7469110.38381

Figura 7 - Registros fotográficos Ponto 5 ao Ponto 8.

Os aplicativos computacionais utilizados neste trabalho estão expostos na Tabela 7. Dentre os programas utilizados para manipulação dos procedimentos citam-se Arcgis e Erdas.

O Erdas Imagine versão 2013 foi adquirido em versão de demonstração e aplicado no pré-processamento das imagens, correção geométrica, equalização das cenas, composição colorida e montagem do mosaico. O Arcgis versão 10.0, desenvolvido pela ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), disponibilizado pela Universidade Federal de Itajubá, foi aplicado durante o processamento das imagens, classificação supervisionada, operações matemáticas, construção de mapas temáticos e manipulação de dados. O pacote Office versão 2010 foi utilizado na elaboração do texto e tabelas.

Tabela 7 – Aplicativos

| Aplicativos | Versão | Utilização |
|--------------------|---------------|---------------------------------------|
| Arcgis | 10.0 | Pré-processamento digital das imagens |
| Erdas | 2013 | Processamento digital das imagens |
| Office | 2010 | Textos e tabelas |

4.3. MÉTODOS

Considerando a importância da Serra da Mantiqueira e seu entorno na provisão de água para geração de energia elétrica e para o abastecimento urbano, a análise da dinâmica das mudanças do uso e cobertura da terra tem relativo interesse, pois estão intrinsecamente ligadas a impactos causados sobre a quantidade e qualidade do recurso hídrico.

Para tal, buscou-se neste trabalho reunir informações destas mudanças ao longo de 30 anos, e integrar indicadores, de transformação antrópica, vegetativo e de expectativa de perda de solo. Além disso, foram elaborados dois cenários, o primeiro localiza e intensifica as atuais pressões exercidas sobre o uso da terra, e o segundo localiza e intensifica a prioridade de áreas quanto a questão de recuperação ambiental, com vistas na preservação e maximização de serviços hidrológicos.

A partir daí foi elaborado um esquema para atingir aos objetivos propostos neste trabalho (Figura 8).

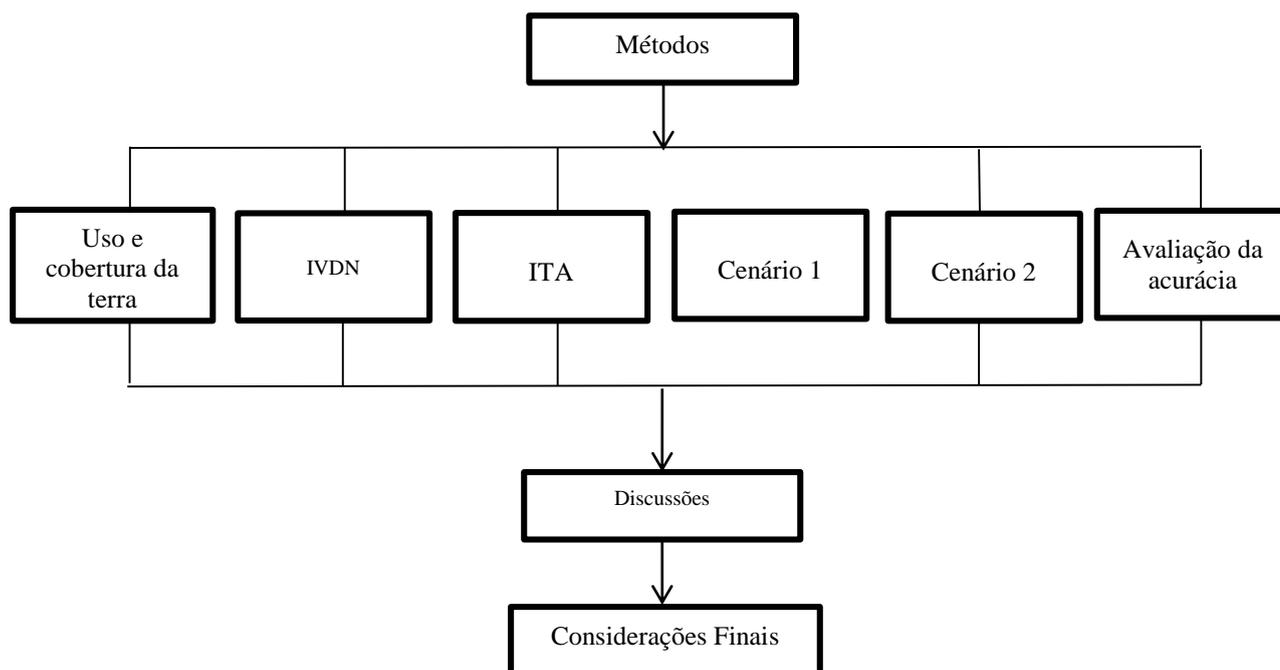


Figura 8 - Esquema do método.

4.3.1. Uso e cobertura da terra

Os mapas de cobertura e uso da terra dos anos 1985, 1995, 2005 e 2015, foram obtidos a partir da metodologia do esquema da Figura 9.



Figura 9 - Etapas de obtenção dos resultados da classificação MAX VER.

Levantamento de dados

A primeira etapa da elaboração de mapas de uso e cobertura é o levantamento de dados da área de estudo, seleção e consultas que possam auxiliar na distinção das características da região e facilitar a interpretação das imagens orbitais. Para tal, além das amostras coletadas em campo, foram agregadas imagens do *Google Earth*. Estas imagens auxiliaram na discriminação de alvos terrestres, contribuindo para eliminar eventuais dúvidas de interpretação (IBGE, 2013). O recurso de linha do tempo do aplicativo possibilitou ainda aproximar a data da imagem do *Google Earth* à imagem coletada pelo satélite *Landsat* sendo este processo repetido para cada ano.

Interpretação das imagens

A segunda etapa envolveu a interpretação das imagens, sendo realizada a partir do processamento digital das mesmas. As imagens foram interpretadas de modo retrospectivo, ou seja, do ano mais próximo (2015) para o mais antigo (1985), sendo que para a interpretação foi adotado o roteiro metodológico proposto por Panizza e Fonseca (2011) e construída uma chave de interpretação para as classes.

Seleção de áreas de treinamento

A definição das áreas de treinamento, realizada em ambiente SIG, deu-se a partir da seleção de conjuntos de pixels que melhor representassem a classe. Foram aplicados histogramas entre classes para avaliar a separabilidade das assinaturas. Se a distância espectral entre o conjunto de pixels de duas amostras não fosse significativa o algoritmo poderia não conseguir fazer uma boa distinção entre as classes. Este processo foi feito repetidas vezes até atingir um nível satisfatório de representação das classes.

Classificação supervisionada

Após a criação e a avaliação do conjunto de assinaturas o próximo passo foi a classificação dos dados. Para isso foi empregado o método da máxima verossimilhança. O algoritmo da máxima verossimilhança avalia a ponderação das distâncias entre médias dos níveis de cinza das classes, utilizando para tal as amostras de treinamento indicadas pelo usuário, e por isso considerado um método supervisionado.

Filtragem de ruído

Cada mapa resultado deste último processo passou pelo Filtro Majoritário do conjunto de ferramentas de Análise Espacial do Arcgis (ESRI, 2016). Este filtro permite

eliminar e uniformizar os temas da classificação, através da eliminação de pontos, gerando uma imagem classificada com aparência menos ruidosa (INPE, 2016).

Mapa temático

Ao final das etapas de processamento as informações foram sintetizadas e padronizadas em mapas sintéticos para cada ano onde as legendas indicam amostras das cores, símbolos e formas, utilizadas na elaboração do mapa.

Avaliação

A avaliação temporal de mapas de uso e cobertura da terra foi feita através de gráficos e tabelas a partir da contabilização das áreas (em ha) de cada classe. Para este cálculo o mapa deve estar em formato vetorial que permite operações de manipulação. Deste modo para cada mapa foi realizada a conversão raster-vetor, computadas as áreas através da calculadora de atributos do SIG, sendo o resultado exportado como arquivo do tipo *.csv* (separado por vírgulas) para ambiente *Office* para então ser analisado

4.3.2. IVDN

Neste trabalho o IVDN foi obtido a partir da metodologia representada pelo esquema da Figura 10 e aplicado em imagens orbitais da família de satélites *Landsat* para os anos 1985, 1995, 2005 e 2015 e posteriormente integrado a outras técnicas de análise espacial para análise da dinâmica das mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra da Serra da Mantiqueira e entorno.

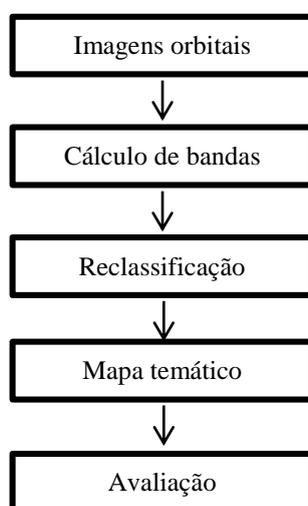


Figura 10 - Etapas de obtenção dos resultados do IVDN.

Imagens orbitais

O IVDN foi obtido a partir das reflectâncias das bandas: vermelho (V) e infravermelho próximo (IFVP). Para o satélite *Landsat 5* corresponde as bandas 3 e 4 e para o satélite *Landsat 8* as bandas 4 e 5.

Cálculo de bandas

O cálculo do IVDN foi feito a partir da diferença entre as reflectâncias das bandas de IFVP e V dividido pela soma das reflectâncias dessas duas bandas (Equação 1) para cada ano (1985, 1995, 2005 e 2015). O resultado deste cálculo varia de -1 a 1, de modo que quanto mais próximo do 1, maior indício de presença de vegetação, e quanto mais próximo de -1, maior presença de solos descobertos, rochas e água.

$$IVDN = \frac{IFVP - V}{IFVP + V}$$

Equação 1 - Cálculo bandas IVDN.

Reclassificação

Os valores do IVDN foram reclassificados tomando como base o comportamento espectral de cada classe. A Tabela 8 apresenta estes valores de forma aproximada.

Tabela 8 - Reclassificação dos dados IVDN

| Classe de referência | Intervalo IVDN |
|----------------------------|----------------|
| Água | -1 a -0,1 |
| Solo exposto/urbano/outras | -0,1 a 0,2 |
| Atividades agrícolas | 0,2 a 0,5 |
| Mata nativa/eucalipto | 0,5 a 1 |

Mapa temático

Os mapas temáticos do IVDN seguiram o padrão de cores e legenda adotados na classificação supervisionada. Contudo, não foi possível separar as classes solo exposto de urbano, mata nativa de eucalipto, através do IVDN, devido a semelhança na resposta espectral.

Avaliação

A avaliação foi realizada a partir da transformação vetorial dos mapas e contabilização das áreas das classes. Além da avaliação temporal dos dados do IVDN foi feita a correlação destes com os dados da EUPS, para verificar a existência ou não de relações entre eles.

4.3.3. ITA

O ITA para os anos 1985, 1995, 2005 e 2015, foi obtido a partir da metodologia do esquema da Figura 11.

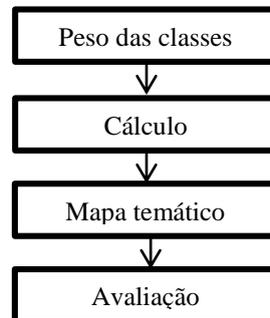


Figura 11 - Etapas da obtenção dos resultados do ITA.

Pesos das classes

Os pesos do ITA, que expressam o grau de transformação dos tipos de uso e cobertura da terra, sobre as ações antrópicas, foram atribuídos com base em trabalhos desenvolvidos sobre os temas índice de transformação antrópica, bacia hidrográfica, sendo eles Cruz *et al.* (1998), Nogueira *et al.* (2001) e Gouveia *et al.* (2013). O peso do ITA varia entre 1 a 10, onde o valor 10 indica as maiores pressões (RODRIGUES *et al.*, 2012).

Cálculo

O ITA foi calculado a partir do mapa de uso e cobertura da terra através da Equação 2, onde % uso é a área em valores percentuais da classe de uso e cobertura e o peso, dado em função dos diferentes tipos de uso e cobertura quanto ao grau de alteração antrópica.

$$ITA = \sum (\%uso * peso) / 100$$

Equação 2 - Cálculo ITA.

Mapa temático

Na construção do mapa temático foi feita a reclassificação dos valores mensurados quantitativamente para classes qualitativas por meio do método de *quartis*, conforme proposto por Cruz *et al.* (1998) (Tabela 9).

Tabela 9 - Classificação quanto ao estado de degradação da área

| Índices | Classes |
|-----------------|----------------|
| Outras | 0 |
| Pouco degradado | 0 - 2,5 |
| Regular | 2,5 - 5 |
| Degradado | 5 - 7,5 |
| Muito degradado | 7,5 - 10 |

Fonte: Adaptado de Cruz *et al.* (1998)

Avaliação

Com este indicador foi identificada a dinâmica da transformação antrópica entre área das APAS e entorno, e ainda a área mais modificada pelo homem ao longo dos anos abordados, exposto em formato de tabela.

A exemplo de Ángeles e Gil (2006) os valores foram interpretados:

Pouco degradado [0 -| 2,5]: áreas onde os usos da terra não produzem alterações consideráveis sobre o funcionamento da paisagem

Regular a Degradado [2,5 -| 7]: áreas em que alterações consideráveis são provocadas pelas atividades antrópicas, intensificando processos que afetam a qualidade ambiental, sendo necessárias medidas que revertam estes processos negativos.

Muito degradado [7 -| 10]: áreas em que a qualidade ambiental é afetada pelo predomínio de atividades antrópicas que desequilibram o funcionamento da paisagem.

Por fim, o mapa temático também foi aplicado na análise de correlação em cruzamento com resultados da EUPS.

4.3.4. Cenário 1 - Análise das áreas de pressão sobre uso do solo

Empregou-se a estrutura da Avaliação multicritérios, AMC, em ambiente SIG, através das etapas apresentadas na Figura 12.

Seleção de fatores

A partir da definição do problema de pesquisa foram definidos os fatores. Para tal reuniram-se os planos de informação (PI): mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2015 e malha viária.

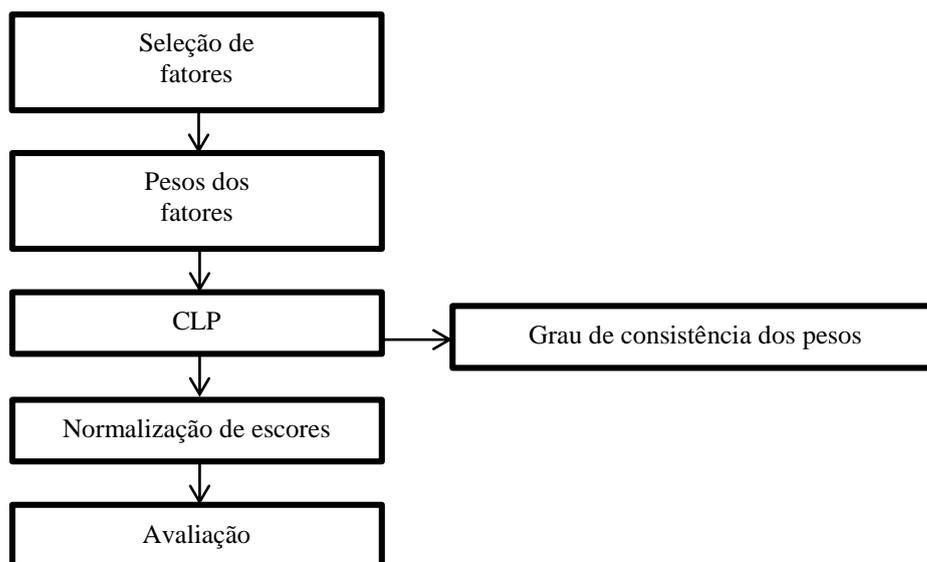


Figura 12 - Etapas da avaliação multicritérios.

Pesos dos fatores

Os pesos, que expressam a ordem de importância dos fatores no processo de decisão, foram atribuídos com base na consulta de referências bibliográficas apresentadas no Capítulo 5 de Resultados

Grau de consistência dos pesos

A matriz de comparação gerada para adoção de critérios de importância aos fatores pode apresentar múltiplos caminhos de avaliação (VETORAZZI, 2006). Saaty (1977) propôs a avaliação da matriz através do Índice de Consistência (IC) e da Razão de Consistência (RC), que tem como objetivo expressar se os valores de comparação entre os fatores foram gerados aleatoriamente.

O IC é obtido a partir da Equação 3, onde λ máx. é obtido a partir da multiplicação das matrizes de auto vetor normalizado e matriz de auto valores ; e n é o número de critérios.

$$IC = \frac{\lambda \text{ máx} - n}{n - 1}$$

Equação 3 - Índice de consistência

Para análise da RC aplica-se a Equação 4, onde RC é a razão de consistência; IC é o índice de consistência; e CA é o índice de consistência aleatória obtido de acordo com a ordem da matriz segundo a Tabela 10, elaborada por Saaty (1992)

$$RC = \frac{IC}{CA}$$

Equação 4 - Razão de consistência.

Tabela 10 - Índice de consistência aleatória.

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---|---|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| CA | 0 | 0 | 0,6 | 1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,6 |

Os valores de RC e IC devem se apresentar menores que 0,10 (ou 10%) para que a matriz seja satisfatória, por outro lado, se for insatisfatório deve ser feita a reorganização da matriz até encontrar um valor consistente (SAATY, 1992; EASTMAN, 2001).

Combinação linear ponderada (CLP)

A CLP foi feita a partir da combinação de fatores através da aplicação de peso a cada um deles e posterior soma para produzir um mapa síntese, conforme Equação 5 onde S é a adequação, w_i é o peso do fator i e x_i é o escore do fator i.

$$S = \sum w_i x_i$$

Equação 5 - Combinação linear ponderada.

Normalização dos escores

Conforme recomenda Vetorazzi (2006) devido as diferentes escalas na mensuração dos valores dos fatores, estes devem passar por um processo de transformação para padronização das escalas. Assim como Vetorazzi, empregou-se neste trabalho a transformação linear dos dados. Como resultado da padronização os escores dos critérios foram expressos de acordo com uma escala numérica de 0 a 1, onde a posição 0 indica a proximidade ao problema e 1 o distanciamento.

Avaliação

Foram definidas para os mapas produzidos sete classes de nível de pressão: extremamente baixa, muito baixa, baixa, média, alta, muito alta e extremamente alta. Em seguida foram extraídas as áreas em correspondência ao nível da pressão antrópica para as áreas total, APAS e entorno. Os resultados foram cruzados com as classes de uso e cobertura, para identificar quais as classes estão submetidas as maiores pressões antrópicas e ainda foi realizado o cruzamento entre as áreas identificadas como de alta pressão (alta, muito alta e extremamente alta) e as áreas que abrangem unidades de conservação.

4.3.5. Cenário 2 - Análise e proposta para área de recuperação e conservação ambiental

A análise da área para recuperação e conservação ambiental também foi realizada com base na estrutura da AMC, em ambiente SIG. Considerando o problema de pesquisa foram selecionados os fatores expectativa de perda de solo do ano de 2015 e rede hidrográfica. As demais etapas seguiram o processo de avaliação estabelecido no item 4.3.4.

Na etapa de avaliação foram definidas para os mapas produzidos sete classes de grau de prioridade: extremamente baixa, muito baixa, baixa, média, alta, muito alta e extremamente alta. Posteriormente foram extraídas as áreas correspondentes ao nível de prioridade para as áreas: total, APAS e entorno. Por fim, cruzamentos espaciais foram realizados entre áreas de pressões sob uso do solo para fins urbanos com áreas identificadas como prioritárias para recuperação e conservação dos recursos hídricos, afim de identificar áreas em níveis altos de prioridade que estão sob risco de pressão pelas atividades antrópicas.

4.3.6. Avaliação da acurácia

O esquema da Figura 13 relata as etapas para obtenção da matriz de confusão:

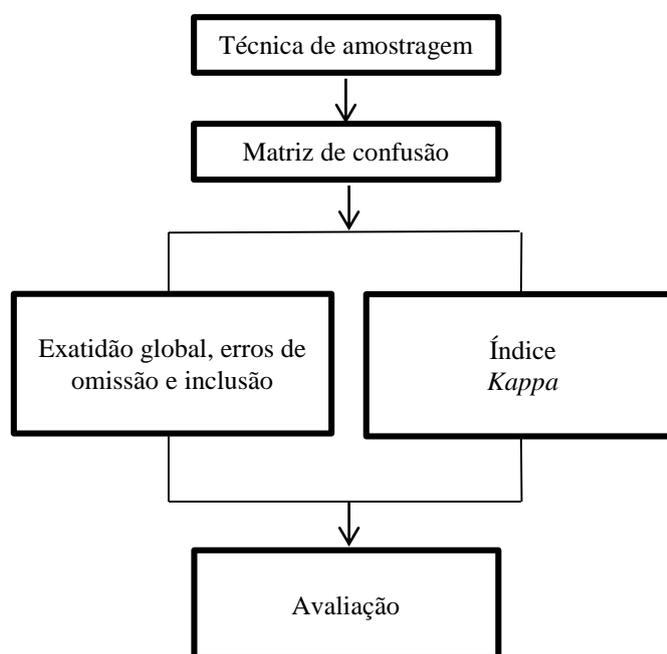


Figura 13 - Etapas para avaliação da acurácia.

Técnica de amostragem

Foram adotados 100 pontos, conforme definição de Congalton (1988) para amostras de áreas extensas.

A distribuição dos pontos foi feita primeiramente de modo randômico, ou seja, modo aleatório simples, que consiste em estabelecer pixels ao “azar”. No entanto, percebeu-se que através deste método de seleção certas classes foram menos selecionadas ou ainda não foram. Optou-se então pelo método sistemático. Para tal foi adotada uma grade amostral (com intervalos de 1000 metros) criada pela ferramenta *Fishnet* do ArcGIS, para evitar a dependência espacial entre pontos e garantir que toda a extensão da imagem fosse explorada.

Matriz de confusão

A matriz de confusão foi obtida do cruzamento entre o resultado do classificador para a imagem de 2015 e uma imagem de referência. Foi adotada como imagem de referência uma imagem de alta resolução obtida do *Google Earth* com data próxima a de passagem do satélite da imagem trabalhada.

Exatidão global, erros de omissão e inclusão

O número de acertos de cada classe foi obtido através da diagonal principal, e os erros de classificação a partir dos demais elementos da matriz. Deste modo obteve-se a exatidão global (Equação 6), erros de inclusão (acurácia do produtor) (Equação 7) e erros de omissão (acurácia do usuário) na classificação (Equação 8).

$$\text{Exatidão Global} = \frac{\sum \text{Diagonal Principal}}{\sum \text{de todos os dados}}$$

Equação 6 - Exatidão global

$$\text{Erros de Inclusão} = \frac{1 - (\text{Diagonal Principal})}{\sum \text{total (referência)}}$$

Equação 7 - Erros de inclusão

$$\text{Erros de Omissão} = \frac{1 - (\text{Diagonal Principal})}{\sum \text{total (classificação)}}$$

Equação 8 - Erros de omissão.

Índice Kappa(k)

Foi extraído a partir da matriz de confusão e calculado através da Equação 9 onde r o número de linhas ou colunas da matriz de confusão, x_{ii} é o número de observações na linha i e coluna i , x_{i+} é a soma dos valores na linha i , x_{+i} é a soma dos valores na coluna i e N é o número total de observações (BISHOP *et al.*, 1975).

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} + x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} + x_{+i})}$$

Equação 9 - Índice *Kappa*.

Avaliação

A análise da precisão das classificações dos dados baseou-se em cálculos de dados extraídos da matriz de confusão. Estes apresentam intervalo de 0% a 100% em que quanto maior a porcentagem melhor é a representação do mapa sobre sua verdade. A interpretação dos dados da estatística *Kappa* pode ser feita através de faixas de valores propostas por Landis e Koch (1977) para informar o quão boa a classificação está sobre os dados de referência (Tabela 11).

Tabela 11 - Faixas de valores de *Kappa*

| Faixas de valores de <i>Kappa</i> (<i>k</i>) | Ajuste aos dados de referência |
|---|---|
| $k > 0,80$ (80%) | Forte ajuste aos dados de referência |
| $0,8 > k > 0,40$ (80% > $k > 40\%$) | Moderado ajuste aos valores de referência |
| $K < 0,40$ ($k < 40\%$) | Fraco ajuste aos valores de referência |

Fonte: Traduzido de Landis e Koch (1977).

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS

Este capítulo apresenta a análise do uso da terra e cobertura vegetativa através do classificador automático MAX VER, IVDN, ITA. Bem como os cenários construídos para fins de gestão territorial tendo como base a pressão sobre o solo e áreas prioritárias para recuperação ambiental.

5.1. IDENTIFICAÇÃO DAS CLASSES DAS IMAGENS DE SATÉLITE

Foram identificadas sete classes de uso e cobertura da terra considerando o aspecto das cores (diferenças, tonalidades), formas, estrutura, rugosidade, contexto, posição de referência, de objetos alvo de imagens orbitais, sendo elas: urbano, solo exposto, mata nativa, eucalipto, atividades agrícolas, água e outras.

A classe “Urbano” engloba casas, prédios, estradas, galpões. É representada pela cor roxa na legenda do mapa de uso do solo. Na imagem de satélite, em composição colorida falsa cor, é identificada pela cor lilás não uniforme (Figura 14), com pixels variando de tons mais claros a mais escuros, revelando a heterogeneidade da área. Possui formas irregulares, alongadas a retilíneas (no caso de estradas, por exemplo); podendo estar em contexto isolado ou aglomerado; de textura rugosa e heterogênea para as cidades e lisa e uniforme para as estradas. Houve dificuldade na diferenciação desta classe com a classe de solo exposto devido a grande heterogeneidade de pixels das áreas urbanas.

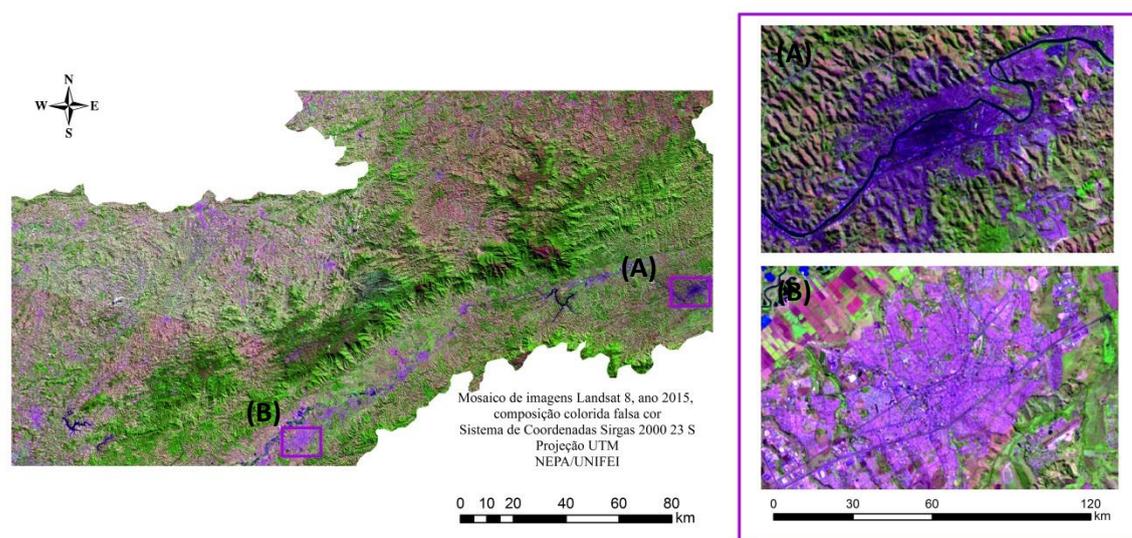


Figura 14 – Amostras da classe "Urbano"

A classe “Solo exposto” diz respeito a parcela de solo sem cobertura vegetativa, áreas desmatadas, incluindo solos preparados para cultivo, pastagens degradadas, afloramento de rochas e áreas queimadas. É representada pela cor rosa na legenda do mapa de uso. Na imagem de satélite, em composição colorida falsa cor, possui diferentes tonalidades de rosa

se aproximando do roxo, sendo as áreas queimadas em tom de preto (Figura 15). Apresenta formas regulares a irregulares, sendo as queimadas localizadas sobre as pastagens com textura lisa a rugosa, homogênea a heterogênea.

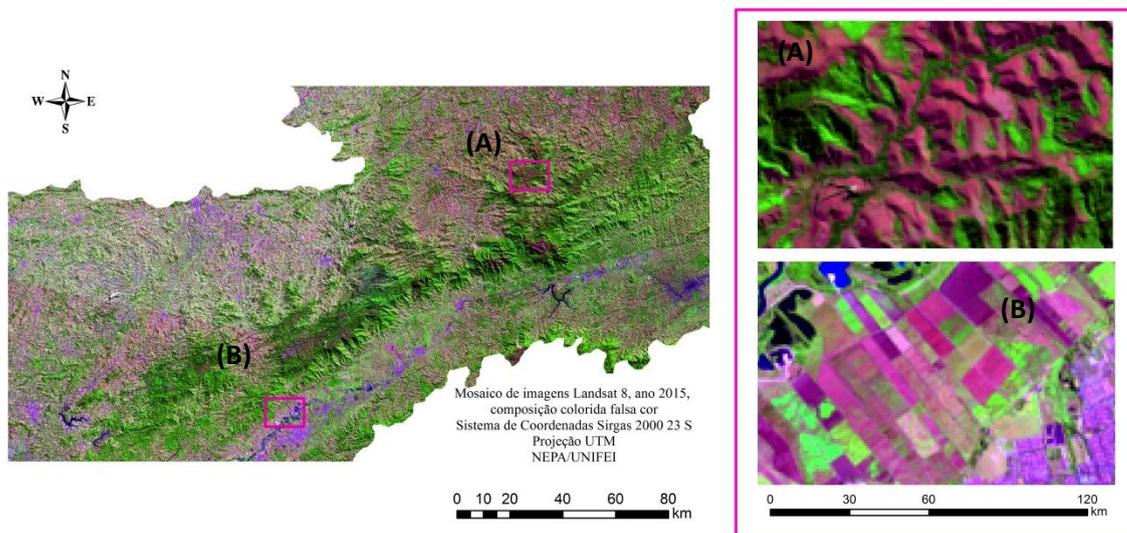


Figura 15 - Amostras da classe "Solo exposto".

A classe “Mata nativa” representa a vegetação densa, remanescentes da Mata Atlântica, matas ciliares, e pasto sujo. É representada pela cor verde na legenda do mapa de uso. Na imagem de satélite é facilmente visualizada, em tom verde escuro, distribuídos em todo o território, sendo a mata ciliar presente ao longo do trecho de rios em formas lineares (Figura 16). Pode apresentar textura rugosa a heterogênea variando em função da uniformidade do dossel.

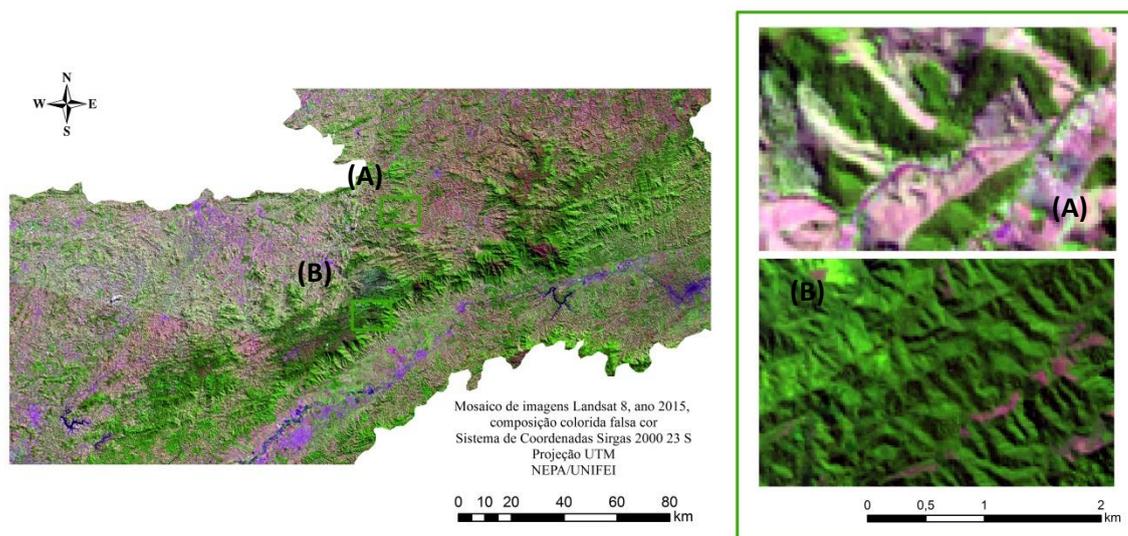


Figura 16 - Amostras da classe "Mata nativa"

A classe “Eucalipto” é facilmente visualizada, com alta reflectância em verde fluorescente, representada pela cor laranja na legenda do mapa de uso. Apresenta formas geométricas bem definidas de textura lisa e homogênea, próximas a áreas de estradas (para

facilitar o escoamento da produção) e também em encostas, principalmente ao longo do trecho do Rio Paraíba do Sul (Figura 17).

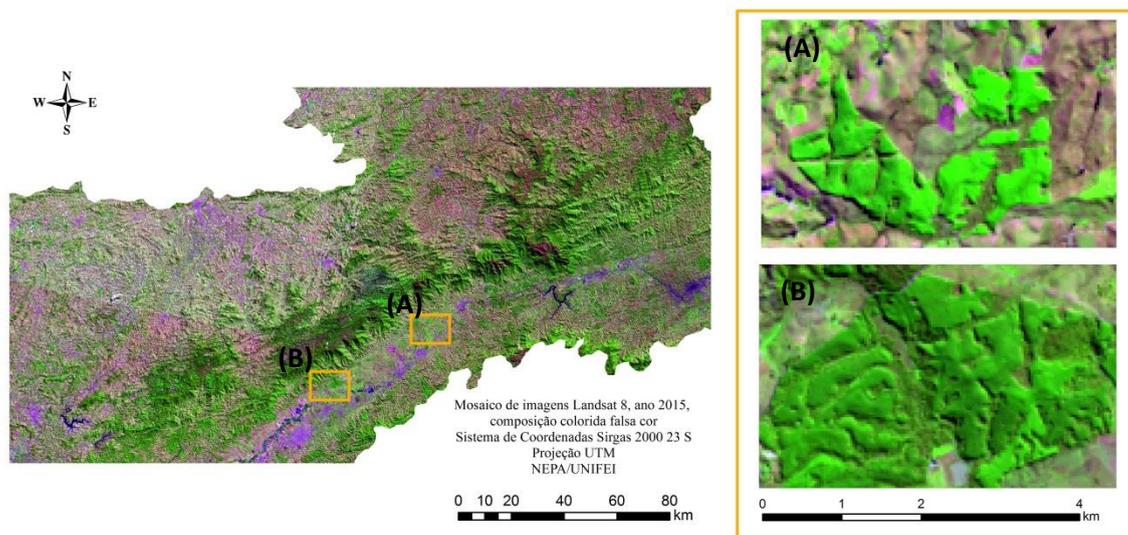


Figura 17 - Amostras da classe "Eucalipto"

A classe “Atividades agrícolas” abrange áreas de pasto e de culturas em diferentes estágios de desenvolvimento. É representada pela cor amarela no mapa de uso do solo. Na imagem de satélite, em composição colorida falsa cor, apresentada tonalidade verde claro, formas irregulares e textura lisa (Figura 18). Houve dificuldade na distinção quando muito rala ou degradada, por apresentar interferência da resposta espectral do solo exposto.

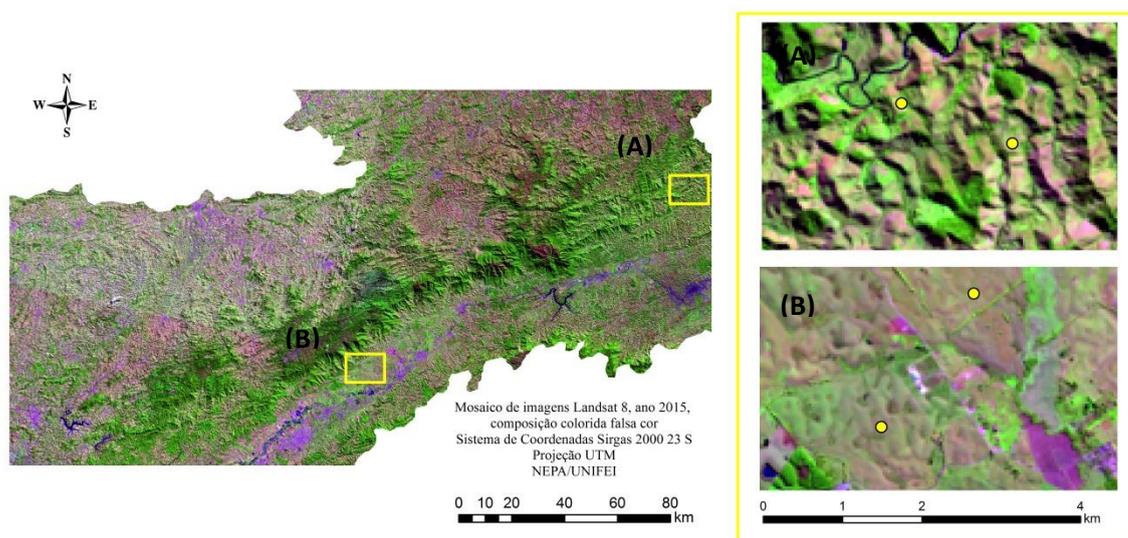


Figura 18 - Amostras da classe "Atividades agrícolas"

A classe “Água” representa os rios, represas, áreas inundadas. Varia em tonalidades que vão do azul claro a azul escuro (Figura 19). Em algumas áreas de águas em tons mais escuros houve dificuldade na separação espectral de áreas sombreadas.

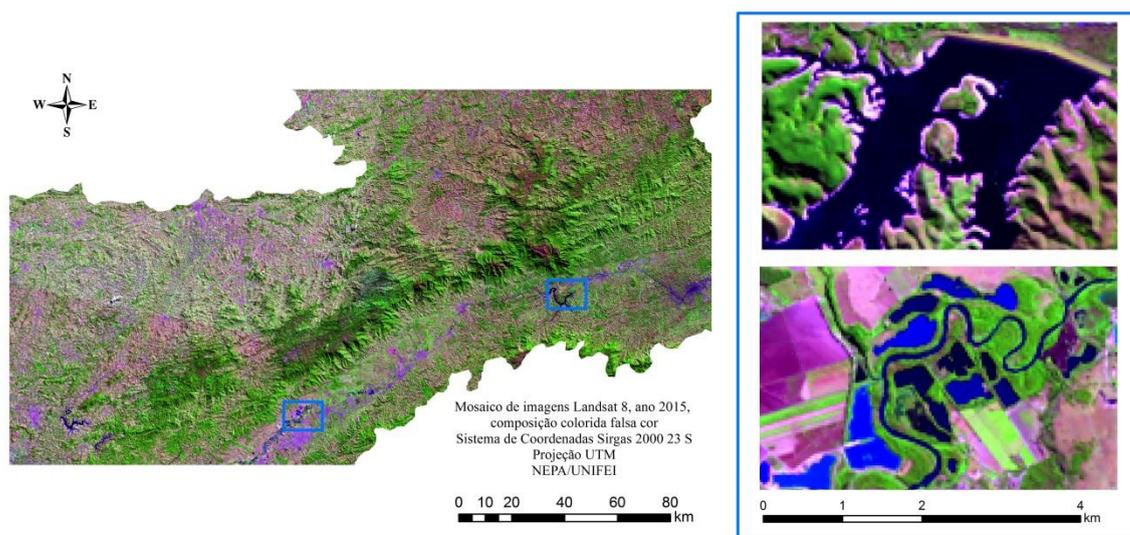


Figura 19 - Amostras da classe "Água"

Por fim, a classe "Outras" considera áreas de sombras de nuvens, sombras de relevo e nuvens em tonalidades brancas e rosa claro para as nuvens e preto esverdeado para sombras de relevo nas encostas da serra (Figura 20). Na legenda é representada pela cor cinza.

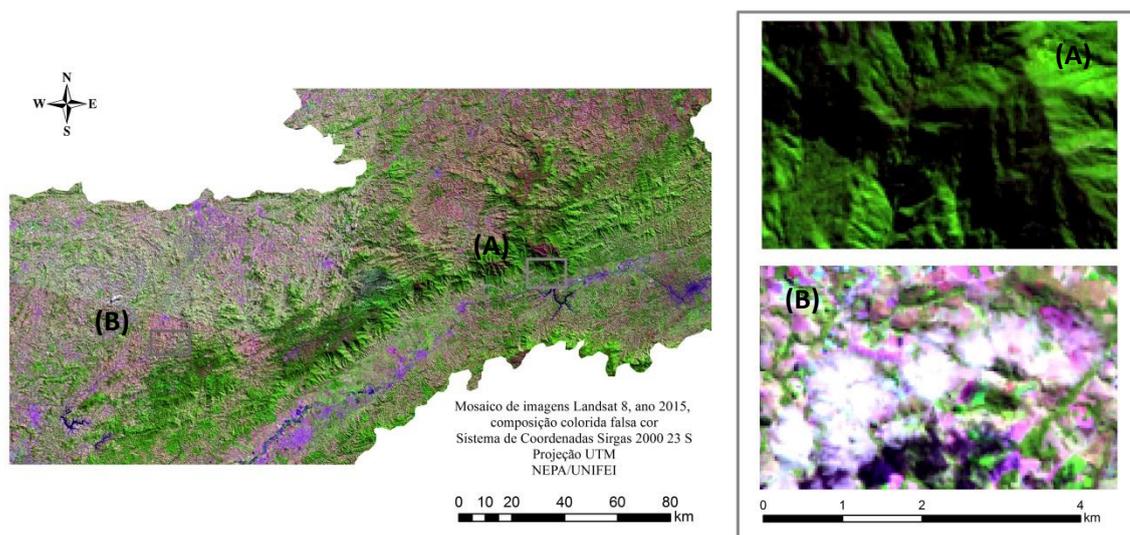


Figura 20 - Amostras da classe "Outras"

5.2. ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA

Os resultados da classificação de imagens revelaram que a área total de classes de uso e cobertura da terra era de 2.829.969,52 ha. Calculada para cada classe somando-se para obter a área total. Os mapas de uso e cobertura da classificação MAX VER para área total de estudo foram apresentados nos apêndices I, III, V e VII (páginas 119, 121, 123, 125) para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015, respectivamente.

Os estudos multitemporais revelaram que a classe de uso e cobertura da terra de atividades agrícolas foi a mais significativa nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015. A área percentual de cada classe nos anos analisados é mostrada na Tabela 12.

Tabela 12 - Análise temporal uso e cobertura da terra da área total.

| CLASSE | ÁREA TOTAL | | | | GRÁFICO TEMPORAL |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|
| | 1985 | 1995 | 2005 | 2015 | |
| Solo exposto | 83.975,94 | 116.542,55 | 189.790,44 | 117.125,71 |  |
| | 2,97 | 4,12 | 6,71 | 4,14 | |
| Urbano | 9.723,32 | 17.455,79 | 50.584,54 | 36.916,12 |  |
| | 0,34 | 0,62 | 1,79 | 1,30 | |
| Água | 8.296,56 | 7.725,67 | 12.107,98 | 7.520,37 |  |
| | 0,29 | 0,27 | 0,43 | 0,27 | |
| Mata nativa | 704.656,37 | 591.838,31 | 921.468,36 | 809.868,21 |  |
| | 24,90 | 20,91 | 32,56 | 28,62 | |
| Outras | 139.705,08 | 80.259,01 | 142.592,84 | 49.430,21 |  |
| | 4,94 | 2,84 | 5,04 | 1,75 | |
| Atividades agrícolas | 1.864.167,39 | 1.996.716,51 | 1.492.943,98 | 1.788.405,83 |  |
| | 66 | 70,56 | 52,75 | 63,20 | |
| Eucalipto | 19.444,87 | 19.431,68 | 20.481,38 | 20.703,07 |  |
| | 0,69 | 0,69 | 0,72 | 0,73 | |
| TOTAL | 2.829.969,52 | 2.829.969,52 | 2.829.969,52 | 2.829.969,52 | |

Analisando a área total entre 1985 e 2015 houve redução das classes atividades agrícolas (-75.761,56 ha), outras (- 90.274,87 ha) e água (- 776,19 ha). Neste mesmo período ocorreu aumento de eucalipto (+33.149,78 ha), solo exposto (33.149,78 ha), floresta nativa (+105. 211,83 ha) e urbano (27.192,80 ha).

Em 1985, a área agrícola era a maior classe representando 65,87% da área total. Em 1995, a porcentagem da classe agrícola aumentou para 70,56%, incremento de 132.549,12 ha. Já em 2005, as áreas agrícolas reduziram 18% (- 503.772,53 ha) em relação ao ano anterior. No ano de 2015, as áreas agrícolas incrementaram em 295.461,85 ha, comparando ao ano de 2010 e ocuparam 63,20% da área.

A mata nativa foi a segunda classe mais representativa, 24,90% da área total em 1985 (591.838,31 ha). Com relação a 1995 reduziram em 112.818,06 ha, somando 20,91% da área total neste ano. Em 2005 incrementaram, ocupando 32,56% (+ 329.630,05 ha). Por fim em 2015, apresentou redução, 28,62% da área total.

As áreas de solo exposto e urbana representaram 2,97% e 0,34% da área total em 1985. Em 1995 ambas sofreram aumentos, 32.566,61 ha de solo exposto e 7.732,48 ha de área urbana. No intervalo entre 1995 e 2005 o aumento foi de 73.247,89 ha para solo exposto e 33.128,75 ha para urbana. No ano seguinte da série houve redução das áreas destas classes, -72.664,73 ha para solo exposto e -13.668,43 ha para classe urbana. Cabe dizer que as classes de solo exposto e áreas urbanas apresentaram queda não esperada no ano de 2015. O que se

espera é aumento das áreas urbanas na análise temporal e também de áreas de solo exposto, devido, por exemplo, abertura de novos loteamentos no processo de expansão urbana, principalmente na periferia das cidades.

As classes água e eucalipto tiveram pouca variação. Para a água a mais significativa entre 1995 e 2005, aumentando em 33.128,75 ha, reduzindo em – 13.668,43 ha no ano de 2015. Para os eucaliptos a variação foi baixa dentro do período analisado, em 1985 e 1995 eram de 0,69% e nos anos seguintes 0,72% e 0,73%.

Os resultados da classificação de imagens revelaram que a área das APAS somou 608.818,83 ha. Os mapas de uso e cobertura da classificação MAX VER foram apresentados nos apêndices II, IV, VI (páginas 120, 122, 124, 126), para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015, respectivamente. A área percentual de cada classe em 1985, 1995, 2005 e 2015 para área das APAS é apresentada na Tabela 13.

Entre 1985 e 2015 na área das APAS houve redução das áreas agrícolas (-105.975,32 ha) eucaliptos (-2.273,05 ha) e água (-330,57 ha). E aumento do solo exposto (18.657,69 ha), floresta nativa (79.313,77 ha), outros (8.8474,76 ha), urbana (2.132,72 ha).

Tabela 13 - Análise temporal uso e cobertura da terra para área das APAS.

| CLASSE | ÁREA APAS | | | GRÁFICO TEMPORAL | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|------------------|---|
| | 1985 | 1995 | 2005 | 2015 | |
| Solo exposto | 11.463,12 | 24.665,67 | 12.653,61 | 30.120,81 |  |
| Urbano | 1,88 | 4,05 | 2,08 | 4,95 |  |
| | 489,56 | 767,27 | 1.373,28 | 2.622,28 | |
| Água | 0,08 | 0,13 | 0,23 | 0,43 |  |
| | 663,86 | 65,14 | 521,65 | 333,29 | |
| Mata nativa | 0,11 | 0,01 | 0,09 | 0,05 |  |
| | 220.949,53 | 237.578,23 | 273.772,82 | 300.263,29 | |
| Outras | 36,29 | 39,02 | 44,97 | 49,32 |  |
| | 28.487,29 | 9.051,36 | 12.263,87 | 36.962,05 | |
| Atividades agrícolas | 4,68 | 1,49 | 2,01 | 6,07 |  |
| | 338.014,98 | 330.465,32 | 303.032,42 | 232.039,66 | |
| Eucalipto | 55,52 | 54,28 | 49,77 | 38,11 |  |
| | 8.750,50 | 6.225,83 | 5.201,18 | 6.477,45 | |
| | 1,44 | 1,02 | 0,85 | 1,06 | |
| TOTAL | 608.818,83 | 608.818,83 | 608.818,83 | 608.818,83 | |

Em 1985 estas apresentaram 36,39% de suas áreas compostas por mata nativa e em metade (55,52%), ocorreram atividades agrícolas, demonstrando o grau da transformação da paisagem original neste ano.

Já em 1995 estas apresentaram 39% de suas áreas cobertas por mata nativa com incremento de aproximadamente 3% com relação ao ano anterior, e assim como para o ano de 1985 na maior parte (54,28%) ocorreram a classe de atividades agrícolas. Para as APAS, neste ano a mudança mais significativa foi para solo exposto que aumentou em 13.202,55

ha, sendo que no ano de 1985 era de 11.463,12 ha e no ano de 1995 somou 24.665,67 ha. Áreas urbanas também aumentaram, de forma não tão expressiva em 277,71 ha.

Em 2005 estas apresentaram 44,97% de suas áreas cobertas por formações florestais, com incremento de 6% comparando ao ano anterior da série, e assim como para os anos anteriores a classe de atividades agrícolas teve significativa representatividade abrangendo 49,77% da área. O solo exposto reduziu na área das APAS, em 1985 representavam 1,88%, em 1995 aumentaram para 4,05% e no ano de 2005 tiveram queda de 2%. Áreas urbanas continuaram a expandir comparando aos anos anteriores, somando 1.373,28 ha da área das APAS.

Por fim, em 2015 as atividades agrícolas não mais abrangiam a maior porção do território das APAS. As atividades agrícolas passaram a ocupar 38,11% (232.039,66 ha) enquanto a mata nativa abrangeu 49,32% (300.263,29 ha). As classes solo exposto e urbano, dentro das APAS, representaram 4,95% e 0,43%, respectivamente. Em comparação ao ano anterior da série destaca-se o incremento de 17.467,20 ha do solo exposto.

Os resultados da classificação de imagens revelaram que a área de entorno somou 2.221.150,69 ha. A área percentual de cada classe em 1985, 1995, 2005 e 2015 é mostrada na Tabela 14.

Analisando a área de entorno entre 1985 e 2015 houve redução das classes outras (-98.749,63 ha) e água (-445,62 ha), e aumento das classes atividade agrícolas (+ 30.231,76 ha), eucaliptos (+ 3.531,25 ha), solo exposto (+ 14.492,09 ha), floresta nativa (+ 25.898,07 ha), urbano (+ 25.060,08 ha).

No entorno, áreas agrícolas e de mata nativa foram as mais representativas. As áreas agrícolas mantiveram-se entre 53,57% e 75,02% no período, o menor valor foi registrado em 2005 e o maior em 1995. As florestas nativas ocuparam 15,95% a 29,16% do entorno.

As áreas de solo exposto e urbana representaram 3,26% e 0,42% da do entorno em 1985. Entre 1985 e 2005, houve aumento de 104.624,01 ha de solo exposto e 39.977,51 ha da classe urbana, reduzindo no período seguinte até 2015, -90.131,92 ha de solo exposto e -14.917,43 ha de área urbana.

No último ano da série representaram 3,92% e 1,54% de solo exposto e classe urbana respectivamente do entorno. Assim como quando analisada a área total observa-se uma queda nas áreas de solo exposto e de área urbana, entre os anos de 2005 e 2015. Fato que pode identificar erros na classificação da imagem de 2005, comprometendo a interpretação dos dados para este ano.

Tabela 14 - Análise temporal uso e cobertura da terra para o entorno.

| CLASSE | ÁREA ENTORNO | | | | GRÁFICO TEMPORAL |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|
| | 1985 | 1995 | 2005 | 2015 | |
| Solo exposto | 72.512,82 | 91.876,88 | 177.136,83 | 87.004,91 | |
| Urbano | 3,26 | 4,14 | 7,97 | 3,92 | |
| | 9.233,75 | 16.688,52 | 49.211,26 | 34.293,83 | |
| Água | 0,42 | 0,75 | 2,22 | 1,54 | |
| | 7.632,70 | 7.660,53 | 11.586,33 | 7.187,09 | |
| Mata nativa | 0,34 | 0,34 | 0,52 | 0,32 | |
| | 483.706,85 | 354.260,08 | 647.695,54 | 509.604,91 | |
| Outras | 21,78 | 15,95 | 29,16 | 22,94 | |
| | 111.217,79 | 71.207,65 | 130.328,96 | 12.468,16 | |
| Atividades agrícolas | 5,01 | 3,21 | 5,87 | 0,56 | |
| | 1.526.152,41 | 1.666.251,19 | 1.189.911,56 | 1.556.366,17 | |
| Eucalipto | 68,71 | 75,02 | 53,57 | 70,07 | |
| | 10.694,37 | 13.205,86 | 15.280,21 | 14.225,63 | |
| TOTAL | 2.221.150,69 | 2.221.150,69 | 2.221.150,69 | 2.221.150,69 | |

As classes água e eucalipto tiveram pouca variação também no entorno. Para a água a mais significativa entre 1995 e 2005, aumentando de 7.660,53 ha para 11.586,33 ha, reduzindo no ano seguinte da série de 2015. Para os eucaliptos houve aumento entre 1985 e 2005 em 4.585,83 ha reduzindo – 1.054,58 ha nos dez anos seguintes.

Nos apêndices IX, XI, XIII, XV (páginas 127, 129, 131, 133) são apresentados os resultados obtidos dos mapas de uso e cobertura da terra para o IVDN dos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015, respectivamente. Os dados obtidos da computação das classes da área total foram apresentados na Tabela 15.

Das classes extraídas do IVDN para o ano de 1985, 23,09% (653.306,98 ha) da área era coberta por mata nativa e áreas de eucalipto, aumentando gradativamente no período estudado, sendo que no ano de 2015 somou 36,24% da região. As atividades agrícolas foram as mais significativas dentro do período, contudo reduziram em quase 20% entre 1985 e 2015.

Solo exposto e áreas urbanas oscilaram no período analisado. Uma possível justificativa seria a ocorrência de sombras e relevos dentro desta classe. Destaca-se o resultado do ano de 2005, que apresentou significativa queda destas classes na área total. A água somou em 1985 0,47% da área total (13.160,06 ha) aumentando para 0,63% (17.844,74 ha) em 2015.

Tabela 15-Análise temporal do uso e cobertura da terra a partir do IVDN da área total.

| CLASSE | ÁREA TOTAL | | | | GRÁFICO TEMPORAL |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|
| | 1985 | 1995 | 2005 | 2015 | |
| Água | 13.160,06 0,47 | 13.296,12 0,47 | 9.685,01 0,34 | 17.844,74 0,63 | |
| Atividades agrícolas | 1.986.799,04 70,21 | 1.827.102,30 64,56 | 1.687.902,89 59,64 | 1.498.471,78 52,95 | |
| Mata nativa/ eucalipto | 653.306,98 23,09 | 563.939,18 19,93 | 973.329,22 34,39 | 1.025.607,67 36,24 | |
| Solo exposto/ urbano/outras | 176.703,44 6,24 | 425.631,92 15,04 | 159.052,40 5,62 | 288.045,33 10,18 | |
| Total | 2.829.969,52 | 2.829.969,52 | 2.829.969,52 | 2.829.969,52 | |

Nos apêndices X, XII, XIV, XVI (páginas 128, 130, 132, 134) são apresentados os resultados obtidos dos mapas de uso e cobertura da terra para o IVDN dos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015, respectivamente, para área das APAS. Os dados obtidos da computação das classes da área das APAS foram apresentados na Tabela 16.

Assim como na classificação MAX VER, observa-se que as áreas com cobertura vegetativa aumentaram a participação dentro da área das APAS no período, respondendo no último ano da série por quase metade da área das APAS, que abrangiam em 1985 37,97% da área. Também as áreas de atividades agrícolas reduziram dentro da área das APAS. Para a classe solo exposto/urbano/outras, se considerado o período entre 1985 e 2015, observa-se o aumento gradual destas áreas. Contudo, a queda no ano de 2005 demonstra-se evidentes erros de classificação, assim como na classificação MAX VER deste mesmo ano.

Tabela 16 - Análise temporal do uso e cobertura da terra a partir do IVDN das APAS

| CLASSE | ÁREA APAS | | | | GRÁFICO TEMPORAL |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| | 1985 | 1995 | 2005 | 2015 | |
| Água | 701,96 0,12 | 715,35 0,12 | 139,43 0,02 | 3.477,69 0,57 | |
| Atividades agrícolas | 354.148,90 58,17 | 336.561,58 55,28 | 271.994,68 44,68 | 293.709,02 48,24 | |
| Mata nativa/ eucalipto | 231.160,55 37,97 | 224.540,23 36,88 | 321.602,36 52,82 | 258.036,98 42,38 | |
| Solo exposto/ urbano/outras | 22.807,41 3,75 | 47.001,66 7,72 | 15.082,35 2,48 | 53.595,13 8,80 | |
| Total | 608.818,82 | 608.818,82 | 608.818,82 | 608.818,82 | |

Por fim, os dados referentes área de entorno foram apresentados na Tabela 17. A análise da área de entorno apresentou diferenças significativas na computação das classes para áreas de atividades agrícolas quando comparada aos resultados da MAX VER. Enquanto na classificação MAX VER as atividades agrícolas aumentaram no período de análise na classificação do IVDN estas áreas reduziram significativamente. Por outro lado, observa-se que as áreas de mata nativa/eucalipto aumentaram, assim como demonstrou a análise MAX VER., entretanto, o aumento foi mais significativo na contabilização da classificação do IVDN.

Tabela 17 - Análise temporal do uso e cobertura da terra a partir do IVDN do entorno

| CLASSE | ÁREA ENTORNO | | | | GRÁFICO TEMPORAL |
|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| | 1985 | 1995 | 2005 | 2015 | |
| Água | 12.458,10 | 12.580,77 | 9.545,58 | 14.367,05 | |
| | 0,56 | 0,57 | 0,43 | 0,65 | |
| Atividades agrícolas | 1.632.650,14 | 1.490.540,72 | 1.415.908,21 | 1.204.762,76 | |
| | 73,50 | 67,11 | 63,75 | 54,24 | |
| Mata nativa/eucalipto | 422.146,43 | 339.398,95 | 651.726,86 | 767.570,69 | |
| | 19,01 | 15,28 | 29,34 | 34,56 | |
| Solo exposto/urbano/outras | 153.896,03 | 378.630,26 | 143.970,05 | 234.450,20 | |
| | 6,93 | 17,05 | 6,48 | 10,56 | |
| Total | 2.221.150,70 | 2.221.150,70 | 2.221.150,70 | 2.221.150,70 | |

Ao aplicar as técnicas MAX VER e IVDN observaram-se semelhanças e diferenças no comportamento temporal das classes. A partir do IDVN observou-se que a classe de atividades agrícolas, seguida da classe que abrange áreas com cobertura vegetativa, foram as mais significativas. Além disso, ambas as técnicas identificaram o aumento de áreas de mata nativa e redução de atividades agrícolas no período estudado.

5.3. ANÁLISE TEMPORAL A PARTIR DO ITA

Os pesos aplicados as classes de uso e cobertura da terra e respectivos estudos foram expostos na Tabela 18.

Tabela 18- Pesos atribuídos a cada classe temática e respectivas referências.

| Classe | Peso | Referência |
|-----------------------------|-------------|---|
| Água | 1 | Gouveia <i>et al.</i> (2013) |
| Atividades agrícolas | 7 | Nogueira <i>et al.</i> (2001) |
| Eucalipto | 3 | Rodrigues <i>et al.</i> (2012) |
| Mata nativa | 1 | Gouveia <i>et al.</i> (2013), Cocco <i>et al.</i> (2015), |
| Outras | 0 | Definido neste estudo |
| Solo exposto | 8 | Definido neste estudo |
| Urbano | 10 | Nogueira <i>et al.</i> (2001), Cruz <i>et al.</i> (1998). |

*A classe outras recebeu peso nulo por não interferir nas transformações do ambiente.

As áreas degradadas foram as mais significativas na região da Serra da Mantiqueira, caracterizada principalmente pela predominância de áreas de pastagem e culturas, seguida da presença de solo exposto e áreas urbanas.

Na área total corresponderam a 81,14%, 82,76%, 76,19% e 64,31% nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015, respectivamente (Tabela 19). No entorno áreas degradadas também foram significativas representando 85,38%, 88,60%, 82,07%, 70,49% da área nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015, respectivamente (Tabela 21).

Na área das APAS as áreas degradadas corresponderam em 1985 a 65,68%, em 1995 61,62%, em 2005 a 54,58%, reduzindo para 41,72% em 2015, fato que se deve a conservação e aumento de matas nativas, principalmente nas regiões mais íngremes da Serra (Tabela 20).

A recuperação da vegetação contribuiu com a redução de 16,83% de áreas degradadas na área total, 14,89% no entorno e 23,96% nas APAS. Contribuindo assim, por outro lado, no aumento de áreas pouco degradadas. Somente na área das APAS o aumento de áreas pouco degradadas foi de 22,29% devido principalmente à recuperação da vegetação nesta área no período entre 1985 e 2015.

Quanto a dinâmica temporal representada na Figura 21, a área total teve comportamento semelhante a dinâmica apresentada pelo entorno. Apesar do aumento das áreas de mata nativa registrado no período analisado, o aumento de solo exposto e áreas urbanas, de maior peso no grau de transformação antrópica, fez com que o ITA elevasse de 5,36 em 1985 para 5,64 em 2015 condicionado a área de forma geral ao estado regular a degradado. Segundo Angeles e Gil (2006) são consideradas áreas susceptíveis aos impactos das atividades antrópicas, intensificando processos que afetam a qualidade ambiental, sendo necessárias medidas que revertam estes processos negativos.

Tabela 19 - Análise temporal do grau de transformação antrópica para área total.

| Ano | 1985 | | 1995 | | 2005 | | 2015 | |
|------------------------|--------------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|
| | (%) | (ha) | (%) | (ha) | (%) | (ha) | (%) | (ha) |
| Outras áreas | 1,00 | 28.201,32 | 0,28 | 8.057,52 | 0,72 | 20.337,29 | 0,97 | 27.272,20 |
| Pouco degradado | 17,14 | 484.555,86 | 16,16 | 457.134,30 | 21,12 | 596.828,22 | 30,39 | 858.972,28 |
| Regular | 0,11 | 3.151,53 | 0,05 | 1.527,03 | 0,15 | 4.207,91 | 0,11 | 3.209,33 |
| Degradado | 81,14 | 2.293.696,53 | 82,76 | 2.340.319,68 | 76,19 | 2.153.186,02 | 64,31 | 1.817.476,43 |
| Muito degradado | 0,61 | 17.219,70 | 0,74 | 20.891,07 | 1,82 | 51.358,82 | 4,22 | 119.192,90 |
| Área total | 100 | 2.829.969,52 | 100 | 2.829.969,52 | 100 | 2.829.969,52 | 100 | 2.829.969,52 |

Tabela 20 - Análise temporal do grau de transformação antrópica para a área das APAS

| Ano | 1985 | | 1995 | | 2005 | | 2015 | |
|------------------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|
| | (%) | (ha) | (%) | (ha) | (%) | (ha) | (%) | (ha) |
| Outras áreas | 1,31 | 7.981,43 | 0,06 | 357,25 | 0,52 | 3.183,38 | 1,38 | 8.413,34 |
| Pouco degradado | 32,57 | 198.279,11 | 37,87 | 230.536,74 | 44,20 | 269.083,89 | 54,86 | 333.983,44 |
| Regular | 0,20 | 1.233,00 | 0,07 | 413,74 | 0,15 | 912,89 | 0,14 | 857,37 |
| Degradado | 65,68 | 399.901,53 | 61,62 | 375.135,79 | 54,68 | 332.896,50 | 41,72 | 253.976,30 |
| Muito degradado | 0,23 | 1.428,55 | 0,39 | 2.380,09 | 0,45 | 2.746,96 | 1,90 | 11.593,19 |
| Área das APAS | 100 | 608.818,82 | 100 | 608.818,82 | 100 | 608.818,82 | 100 | 608.818,82 |

Tabela 21 - Análise temporal do grau de transformação antrópica para o entorno.

| Ano | 1985 | | 1995 | | 2005 | | 2015 | |
|------------------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|
| | (%) | (ha) | (%) | (ha) | (%) | (ha) | (%) | (ha) |
| Outras áreas | 0,91 | 20.219,89 | 0,35 | 7.700,27 | 0,77 | 17.153,91 | 0,85 | 18.858,86 |
| Pouco degradado | 12,91 | 286.276,75 | 10,22 | 226.597,56 | 14,78 | 327.744,33 | 23,67 | 524.988,84 |
| Regular | 0,09 | 1.918,53 | 0,05 | 1.113,29 | 0,15 | 3.295,01 | 0,11 | 2.351,96 |
| Degradado | 85,38 | 1.893.795,00 | 88,60 | 1.965.183,89 | 82,07 | 1.820.289,52 | 70,49 | 1.563.500,13 |
| Muito degradado | 0,71 | 15.791,15 | 0,83 | 18.510,98 | 2,19 | 48.611,86 | 4,85 | 107.599,71 |
| Área entorno | 100 | 2.221.150,70 | 100 | 2.221.150,70 | 100 | 2.221.150,70 | 100 | 2.221.150,70 |

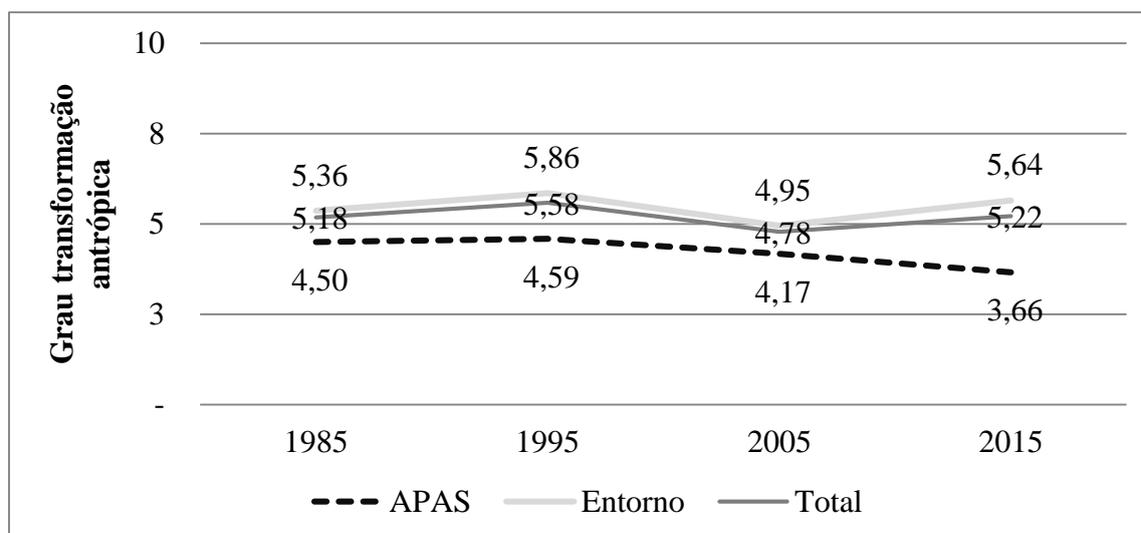


Figura 21 - Dinâmica do ITA para área total, área de entorno e das APAS.

Para área das APAS o aumento da mata nativa reduziu o ITA de 4,50 em 1985 para 3,66 em 2015 (Figura 21). Tal fato condicionou as APAS ao estado regular a degradado, e apesar da melhora da qualidade ambiental como consequência do aumento de áreas de mata nativa e redução das atividades agrícolas, são necessários maiores esforços para que os usos da terra na área das UCS não produzam alterações consideráveis sobre o funcionamento da paisagem

No entorno das APAS a degradação esteve presente de forma significativa nos anos analisados provocado pela expansão de solo exposto, área urbana e de atividades agrícolas. Em 1985 a área de entorno apresentou ITA de 5,18, aumentando para 5,22 em 2015 (Figura 21). De forma geral a área do entorno caracterizou-se como mais degradada quando comparada a área das APAS.

Nos mapas dos apêndices XVII, XVIII, XIX e XX (páginas 135, 136, 137 e 138) para os anos de 1985, 1995, 2005, e 2015, respectivamente, é possível observar que espacialmente as áreas onde o ITA é baixo são principalmente as áreas mais declivosas e altas da Serra, onde os usos da terra para atividades humanas estiveram restritos, além de áreas sobre remanescentes vegetativos presentes no entorno das APAS estudadas.

O entorno da região das APAS é marcado pela presença de atividades agropecuárias, industriais e de grandes centros urbanos. Submetendo a região a maiores pressões sobre seus recursos. Devido a isto esta região apresentou valores de ITA dentro da faixa de áreas muito

degradadas, principalmente na região do Vale Paraíba em que zonas vermelhas são observadas em todos os anos analisados.

Visualmente no ano de 1985 havia maior número de áreas pouco degradadas espalhadas pelo território, e que estas se reduziram no ano seguinte da série. Em 2015 apesar de apresentar aumento de áreas na cor azul, áreas pouco degradadas, também áreas muito degradadas estão presentes por todo o território.

5.4. CENÁRIO 1 - ÁREAS DE PRESSÃO SOBRE USO DO SOLO PARA FINS URBANOS

A Serra da Mantiqueira tem relevante importância na oferta de recursos hídricos. Contudo, está localizada entre os maiores centros de desenvolvimento do Brasil, estando desta forma sujeita aos impactos das ações antrópicas. Áreas sob pressão do solo para fins urbanos foram definidas neste trabalho como áreas próximas as manchas urbanas e áreas próximas a estradas federais e municipais que cortam a região.

Seleção dos fatores

Foram selecionados dois planos de informação, uso e cobertura da terra ano de 2015, e malhas viárias, para extração dos fatores: proximidade das manchas urbanas e proximidade das malhas viárias.

Peso dos fatores

Com o mapa de malha viária local e o mapa de manchas urbanas produziram-se mapas de distância obtendo valores que quanto mais próximos aos fatores selecionados maior a pressão sob o solo. A matriz da Tabela 22 mostra os pesos adotados para cada fator.

Tabela 22 - Pesos de compensação obtidos através da matriz de comparação pareada

| | Prox. Urb. | Prox. Viária | Autovetor | Peso |
|---------------------|-------------------|---------------------|------------------|-------------|
| Prox. Urb. | 1 | - | 1,73 | 0,75 |
| Prox. Viária | 1/3 | 1 | 0,58 | 0,25 |
| Autovalores | 1,33 | 4,00 | 2,31 | 1,00 |

Prox. Urb. = Proximidade das manchas urbanas; Prox. Viária = Proximidade das malhas viárias.

O peso atribuído revela um grau de importância pequena de um fator sobre o outro, no caso, o critério proximidade as manchas urbanas sobre o critério proximidade da malha viária, por considerar que áreas urbanas oferecem maior grau de impactos ao ecossistema

natural que malhas viárias, porém não desconsiderando o impacto desta última sobre as áreas protegidas.

Grau de consistência dos pesos

O cálculo de indicadores quanto ao grau de consistência revelou não haver necessidade de reorganização da matriz, sendo este menor que 0,10 (Tabela 23).

Tabela 23 - Consistência dos pesos

| | |
|----------------------------------|----------|
| λ máx. | 0 |
| IC | 0 |
| CA (n=2) | 0 |
| RC | 0 |

Avaliação

Os níveis de pressões antrópicas foram determinados com base nas pressões causadas pela presença de áreas urbanas e de estradas na região identificando e agrupando áreas de pressão alta a baixas pressões, os resultados foram apresentados na Tabela 24 e o mapa no apêndice XXI (página 139). Cerca de 58,82% dos recursos naturais da Serra da Mantiqueira estão ameaçados pelas pressões das atividades antrópicas (16,50% extremamente alta, 21,40% muito alta e 21% alta).

Tabela 24 - Nível e pressão antrópica sobre a área total, APAS e entorno.

| Nível de pressão | Área Total | | Área das APAS | | Área do Entorno | |
|---------------------------|------------|-------|---------------|-------|-----------------|-------|
| | (ha) | (%) | (ha) | (%) | (ha) | (%) |
| Extremamente alta | 446.535,32 | 16,23 | 30.076,85 | 5,01 | 416.458,47 | 19,36 |
| Muito alta | 589.534,10 | 21,42 | 69.303,82 | 11,54 | 520.230,29 | 24,18 |
| Alta | 582.704,25 | 21,17 | 112.929,85 | 18,80 | 469.774,40 | 21,84 |
| Média | 503.936,60 | 18,31 | 146.357,40 | 24,36 | 357.579,20 | 16,62 |
| Baixa | 330.122,99 | 12,00 | 117.532,10 | 19,57 | 212.590,89 | 9,88 |
| Muito baixa | 193.863,02 | 7,04 | 77.001,47 | 12,82 | 116.861,55 | 5,43 |
| Extremamente baixa | 105.389,34 | 3,83 | 47.497,46 | 7,91 | 57.891,88 | 2,69 |

Na Tabela 25 foi apresentando o cruzamento de informações das classes identificadas no uso e cobertura da terra do ano de 2015.

Observa-se que 16,43% (452.259,95 ha) a mata nativa está ameaçada pelas pressões sobre o uso do solo para fins urbanos, para as áreas de atividades agrícolas somam 33,87% (932.253,25 ha). Enquanto 18,31% refere-se a média pressão sobre o solo para fins urbanos

composto principalmente de áreas de mata nativa (6,28% ou 172.856,99 ha) e atividades agrícolas (10% ou 275.305,90 ha).

Tabela 25 - Cruzamento de Pressões sobre uso do solo e classes de uso

| CLASSES (ha/%) | Solo exposto | Urbano | Água | Mata nativa | Outras | Atividades agrícolas | Eucalipto | Total |
|-------------------------------|-----------------|----------|----------|----------------|-----------|-------------------------|-----------|-----------|
| Extremamente alta | 32.267,4 | 29.435,5 | 4.734,7 | 96.434,1 | 21.405,6 | 260.951,5 | 1.306,5 | 446.535,3 |
| | 1,2 | 1,1 | 0,2 | 3,5 | 0,8 | 9,5 | 0,0 | 16,2 |
| Muito alta | 30.273,6 | 6.629,0 | 2.698,9 | 173.205,6 | 29.502,2 | 343.078,3 | 4.146,5 | 589.534,1 |
| | 1,1 | 0,2 | 0,1 | 6,3 | 1,1 | 12,5 | 0,2 | 21,4 |
| Alta | 27.848,4 | 5.217,8 | 2.341,8 | 182.620,3 | 32.236,4 | 328.223,5 | 4.216,1 | 582.704,3 |
| | 1,0 | 0,2 | 0,1 | 6,6 | 1,2 | 11,9 | 0,2 | 21,2 |
| Média | 20.550,3 | 3.295,6 | 1.299,0 | 172.857,0 | 26.543,3 | 275.305,9 | 4.085,5 | 503.936,6 |
| | 0,7 | 0,1 | 0,0 | 6,3 | 1,0 | 10,0 | 0,1 | 18,3 |
| Baixa | 10.510,2 | 1.681,7 | 485,0 | 132.469,8 | 16.441,7 | 165.256,1 | 3.278,6 | 330.123,0 |
| | 0,4 | 0,1 | 0,0 | 4,8 | 0,6 | 6,0 | 0,1 | 12,0 |
| Muito baixa | 6.676,8 | 764,1 | 110,0 | 95.619,2 | 10.217,1 | 78.070,1 | 2.405,7 | 193.863,0 |
| | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 3,5 | 0,4 | 2,8 | 0,1 | 7,0 |
| Extremamente baixa | 4.638,0 | 248,7 | 197,8 | 61.818,5 | 5.346,7 | 32.296,1 | 843,7 | 105.389,3 |
| | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 2,2 | 0,2 | 1,2 | 0,0 | 3,8 |
| Total | 132.764,7 | 47.272,4 | 11.867,2 | 915.024,4 | 141.692,9 | 1.483.181,4 | 20.282,6 | |

Em relação as áreas onde estão as mais baixas pressões de 22,78% do total do território em análise 10,53% referem-se a mata nativa e 10,2% a áreas de atividades agrícolas, o restante desta pertence as demais classes.

Observa-se uma área de 90.389,43 ha (3,28%) sem cobertura vegetativa em região de alta a extremamente alta pressão sob o solo. Considerando a área das APAS, sendo ainda mais impactantes levando em consideração a biodiversidade da região e a fragilidade quanto as ações antrópicas, esta área abrange 7.681,58 ha (1,28%).

Na área das APAS 35,34% da área está fortemente ameaçada pelas pressões urbanas, desta 16,95% correspondem a mata nativa e 14,63% a áreas de pastagens e culturas. Maior parte das APAS (aproximadamente 40,29%) constituem regiões onde as pressões são de baixa a extremamente baixa, em que estão presentes principalmente as classes: mata nativa (21,86%) e atividades agrícolas (13,49%). A classe de pressão moderada corresponde a 24,36% da área e abrangendo principalmente a mata nativa (11,43%) e a pastagem (10,52%).

No entorno a pressão do uso do solo é significativa em 65,37% da área pela ocorrência de manchas urbanas e estradas mais expressivas do que na área das APAS. Apesar da evidência de forte pressão cabe destacar que restam ainda 18% de áreas ainda sob baixa pressão e destas 2,69% a pressão é extremamente baixa.

O cruzamento entre as áreas identificadas como de alta pressão (alta, muito alta e extremamente alta) e as áreas que abrangem unidades de conservação permite algumas constatações. Este resultado foi apresentado no mapa síntese do apêndice XVII (página 132).

Atualmente existem pontos sob média pressão e ainda de baixa pressão na região das UCS. Este último, a nordeste das APAS, localiza-se a UC de categoria de proteção integral Parque Estadual da Serra do Papagaio, pertencente a região da UC da APA da Serra da Mantiqueira, o único da categoria integral da região estudada.

Na região da APA Fernão Dias, observou-se uma área de pressão extremamente baixa. Na área de entorno a identificação de áreas sob baixa pressão onde ocorrem áreas de mata nativa pode sugerir a aplicação de ações conservacionistas afim de ampliar a oferta de serviços ecossistêmicos em regiões ainda remanescentes da ação do homem.

Dos fragmentos florestais identificados em áreas sob alta e extremamente alta pressão, 452.259,94 ha, atualmente 36,72% (166.087,18 ha) insere-se em alguma categoria de UC. Do restante 63,28% (286.172,77 ha) dos remanescentes de vegetação natural não estão inseridos em categoria de UC.

5.5. CENÁRIO 2 - ANÁLISE E PROPOSTA PARA ÁREAS DE RECUPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL

Áreas prioritárias para recuperação ambiental com foco na maximização de serviços hidrológicos foram definidas neste trabalho como sendo: áreas próximas a nascentes, e áreas de rios sob risco de assoreamento devido a proximidade a expectativa de perda de solo de severa a extremamente severa (acima de 50 toneladas por ano).

Seleção de fatores

Foram selecionados quatro fatores: proximidade a expectativa de perda de solo acima de 50 toneladas/anual; proximidade a cursos d'água e proximidades a áreas de preservação permanente de nascentes: proximidade a expectativa de perda de solo acima de 50 ton. /ha. /anual, proximidade a cursos d'água e proximidade a áreas de preservação permanente de nascentes.

Pesos dos fatores

A Tabela 26 abaixo demonstra a matriz organizada para estipulação de pesos dos critérios adotados para compor o mapa de áreas prioritárias para recuperação ambiental, e os cálculos de auto vetor e dos pesos de fator.

Tabela 26- Pesos obtidos através da matriz de comparação pareada

| | EPS> 50 | Cursos d'água | APP Nascentes | Autovetor | Pesos |
|----------------------|-------------------|----------------------|----------------------|------------------|--------------|
| EPS> 50 | 1,00 | | | 0,44 | 0,12 |
| Cursos d'água | 3,00 | 1,00 | | 1,14 | 0,32 |
| APP Nascentes | 4,00 | 2,00 | 1,00 | 2,00 | 0,56 |
| Autovalor | 8,00 | 3,33 | 1,75 | 3,58 | 1,00 |

EPS>50 = Proximidade a expectativa de perda de solo acima de 50 toneladas por hectare anual; Cursos d'água = Proximidade a cursos d'água; e APP Nascentes = Proximidades a áreas de preservação permanente de nascentes.

O fator de maior peso foi proximidade a APP de nascentes (0,56), seguido da proximidade a cursos d'água (0,32), e finalmente a proximidade a áreas com expectativa de perda de solo severa a extremamente severa (0,12). Espera-se que como resultado as áreas estejam mais concentradas próximas as nascentes, por ter recebido maior peso, e áreas próximas a drenagem.

Grau de consistência

O IC e a RC encontrados foram de 0,01 e 0,02 reciprocamente, valor este menor que 0,10 que indica a consistência da matriz não havendo, portanto, necessidade de reorganização dos dados da matriz, conforme Saaty (1980) (Tabela 27).

Tabela 27 - Grau de consistência dos pesos.

| | |
|----------------------------------|-------------|
| λ máx. | 3,02 |
| IC | 0,01 |
| CA (n=3) | 0,58 |
| RC | 0,02 |

Avaliação

O mapa síntese das áreas prioritárias foi apresentado no apêndice XXII (página 140), o cálculo das áreas consta na Tabela 28.

Constatou-se que 1.677.828,10 ha (60%) da área de estudo têm de alto a extremamente alto grau de prioridade para recuperação. Na região das APAS esta área soma 445.469,70 ha sendo que desta 17,36% tem prioridade extremamente alta, 28,39% muito alta e 27,42% alta prioridade. Observou-se maior porcentagem de áreas prioritárias para recuperação dentro da área das APAS, quando comparada ao entorno. No entorno somaram 56,85% da região enquanto nas APAS abrangem 73,17%.

A porcentagem de áreas com moderada prioridade foi de 17,19% para área total estudada, 16,39% da área das APAS e 17,41% da área de entorno. Enquanto que de baixa a extremamente baixa prioridade tem-se 22,40% para a área total, 10,44% para área das APAS e 25,74% para área de entorno.

Cruzamentos espaciais entre áreas de pressões sobre o uso do solo para fins urbanos com áreas identificadas como prioritárias para recuperação e conservação dos recursos hídricos foram expostos na Tabela 29.

Tabela 28 - Grau de prioridade para recuperação ambiental.

| Grau de prioridade | Área Total | | Área das APAS | | Área do Entorno | |
|---------------------------|------------|-------|---------------|-------|-----------------|-------|
| | (ha) | (%) | (ha) | (%) | (ha) | (%) |
| Extremamente alta | 391.747,84 | 14,11 | 105.685,43 | 17,36 | 285.797,39 | 13,20 |
| Muito alta | 640.989,00 | 23,08 | 172.851,54 | 28,39 | 467.441,68 | 21,59 |
| Alta | 645.091,25 | 23,23 | 166.932,73 | 27,42 | 477.263,84 | 22,05 |
| Média | 477.283,07 | 17,19 | 99.799,43 | 16,39 | 376.898,97 | 17,41 |
| Baixa | 314.293,10 | 11,32 | 47.830,50 | 7,86 | 265.994,73 | 12,29 |
| Muito baixa | 215.912,85 | 7,77 | 14.827,60 | 2,44 | 200.894,26 | 9,28 |
| Extremamente baixa | 91.712,92 | 3,30 | 896,39 | 0,15 | 90.324,68 | 4,17 |

Os dados revelaram que 890.612,75 ha, 31,47% da área total, são áreas com significativa prioridade de recuperação (alta a extremamente alta prioridade), localizadas em regiões de pressões altas a extremamente alta sob o solo para fins urbanos. E que somente 104.845,09 ha, cerca de 3,70% tem de baixa a extremamente baixa pressão localizadas em áreas onde não há prioridade de recuperação. Ainda 82.068,35 ha, 2,9%, tem moderada pressão sobre o uso do solo localizadas em áreas de prioridade de recuperação moderada.

Na região das APAS foram identificados 147.900,82 ha de áreas localizadas em regiões de alta a extremamente alta prioridade para recuperação em ambiental e áreas submetidas as pressões antrópicas em alto a extremamente alto grau, o que corresponde a 24,9%, conforme mostrado na Tabela 30 e no mapa do apêndice I (página 141).

Tabela 29 - Cruzamento entre prioridade e pressão da área total.

| PRIORIDADE/ PRESSÃO | Extremamente alta | Muito alta | Alta | Moderada | Baixa | Muito baixa | Extremamente baixa | Total |
|--------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------|-----------------|--------------|------------------------|-------------------------------|---------------------|
| Extremamente alta | 25.525,83 | 69.260,42 | 91.586,76 | 100.691,33 | 56.668,01 | 38.052,19 | 18.301,31 | 400.085,85 |
| Muito alta | 59.951,48 | 122.482,55 | 150.449,78 | 142.389,57 | 90.137,07 | 52.465,28 | 30.614,93 | 648.490,66 |
| Alta | 83.042,48 | 137.753,18 | 150.560,26 | 120.210,68 | 82.663,03 | 45.883,56 | 32.836,31 | 652.949,51 |
| Média | 89.510,38 | 118.257,22 | 98.684,23 | 82.068,35 | 56.517,80 | 24.245,12 | 15.438,27 | 484.721,37 |
| Baixa | 89.893,86 | 72.073,44 | 57.330,43 | 46.009,00 | 31.517,14 | 15.762,57 | 8.611,04 | 321.197,48 |
| Muito baixa | 76.089,89 | 52.065,97 | 37.300,04 | 21.068,92 | 16.753,67 | 13.666,61 | 5.739,96 | 222.685,06 |
| Extremamente baixa | 40.237,67 | 32.037,25 | 11.165,03 | 3.605,52 | 3.245,13 | 8.230,14 | 1.318,84 | 99.839,58 |
| Total | 464.251,60 | 603.930,04 | 597.076,55 | 516.043,36 | 337.501,84 | 198.305,47 | 112.860,66 | 2.829.969,52 |

Tabela 30 - Cruzamento entre Prioridade e Pressão da área das APAS.

| PRIORIDADE/PRESSÃO | Extremamente alta | Muito alta | Alta | Total |
|---------------------------|--------------------------|-------------------|-------------|-------------------|
| Extremamente alta | 2.356,96 | 9.747,81 | 25.270,35 | 37.375,12 |
| Muito alta | 5.159,68 | 17.329,84 | 32.707,50 | 55.197,02 |
| Alta | 9.791,47 | 20.129,22 | 25.408,00 | 55.328,69 |
| Total | 17.308,11 | 47.206,87 | 83.385,84 | 147.900,82 |

5.6. AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA

A avaliação da acurácia da classificação MAX VER para o ano de 2015, foi realizada pela matriz de confusão e os índices dela derivados. Foram levantados 600 pontos, sendo estes estratificados em 6 classes, conferindo 100 pontos para cada classe.

Os dados foram tabulados na matriz e por fim realizaram-se os cálculos da exatidão global (Tabela 31), da acurácia do produtor e usuário (Tabela 32), e o cálculo do índice *Kappa*.

Tabela 31 - Matriz de erros entre imagem Google Earth e resultado do classificador MAX VER, ano de 2015

| MAX VER/ Referência | Solo exposto | Urbano | Água | Mata nativa | Atividades agrícolas | Eucalipto | Total linha |
|--------------------------------|--------------|--------|------|-------------|----------------------|-----------|--------------------|
| Solo exposto | 16 | 26 | | | 3 | 2 | 47 |
| Urbano | 53 | 67 | 8 | | | 1 | 129 |
| Água | | | 81 | | | | 81 |
| Mata nativa | 2 | | 6 | 99 | 1 | 68 | 176 |
| Atividades agrícolas | 28 | 7 | 5 | 1 | 96 | 10 | 147 |
| Eucalipto | 1 | | | | | 19 | 20 |
| Total coluna | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 600 |
| Exatidão global | | | | | | | 63% |

Tabela 32 - Acurácia do produtor e usuário para o classificador MAX VER ano de 2015

| Classes | Acurácia do produtor (%) | Erro de omissão (%) | Acurácia do usuário (%) | Erro de inclusão (%) |
|----------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Solo exposto | 16,00 | 84,00 | 34,04 | 65,96 |
| Urbano | 67,00 | 33,00 | 51,94 | 48,06 |
| Água | 81,00 | 19,00 | 100,00 | - |
| Mata nativa | 99,00 | 1,00 | 56,25 | 43,75 |
| Atividades agrícolas | 96,00 | 4,00 | 65,31 | 34,69 |
| Eucalipto | 19,00 | 81,00 | 95,00 | 5,00 |

A classe água apresentou erro de inclusão 0 (zero), ou seja, todas as amostras coletadas de água pertencem realmente a classe, e erro de omissão de 19,00%.

A classe atividades agrícolas apresentou bom ajuste aos dados de referência, pois, seu erro de omissão foi de 4% e o erro de inclusão de 34,69%.

Considerando as áreas de solo exposto tiveram altos erros de omissão e inclusão (84,00% e 65,96% respectivamente) confundindo-se principalmente com áreas da classe urbano, assim como, a classificação de áreas urbanas sofreu interferência de áreas de solo exposto, resultando em erros de omissão de 33,00% e erros de inclusão de 48,06%.

Quanto a classe mata nativa houve boa representação, sendo a matas incluídas na classe a qual ela realmente pertence. Contudo, houve confusão espectral com áreas de eucalipto, evidenciado a dificuldade de separação das assinaturas espectrais destas áreas.

O índice *Kappa* apresentou valor de 56% e de exatidão global 63%. A partir dos

intervalos propostos por Landis e Koch (1977) é possível afirmar que a classificação apresentou moderado ajuste aos valores de referência.

Nota-se que houve perda de qualidade no processo de classificação. Normalmente isto ocorre, por exemplo, pela confusão espectral entre classes, presença de grande quantidade de pixels mistos, presença de nuvens (LEÃO *et al.*, 2007; CASTANHEIRA, 2008; MELLO *et al.*, 2009; SHIMABUKURO *et al.*, 2009), baixa resolução espacial dos sensores utilizados (PRADO, 2004; MELLO *et al.*, 2009; RODRIGUES, 2009), e ainda a época de captura de imagens (GAO; SKILLCORN, 1998) que favorece a maior presença de sombras na região (HERRMANN, 2008).

Leão *et al.* (2007) comparou resultados do *Kappa* obtidos de mapas de uso do solo elaborados por três diferentes classificadores, Bhattacharya, Iso seg, e MAX VER. Os autores obtiveram resultados 53%, 46% e 37% para Bhattacharya, Iso seg, e MAX VER respectivamente, para uma imagem do sensor TM ano de 2005 e atribuiu a redução do índice para o classificador MAX VER a presença de nuvens na região.

Em especial as áreas de sombras de relevo tiveram presença significativa nas imagens de satélite utilizadas. De acordo com Moraes (2002) o efeito das sombras em imagens de satélite é maior quanto mais baixo for o ângulo de elevação solar na captura da cena, no hemisfério sul este efeito ocorre de forma mais intensa entre os meses de junho e agosto. Justamente os meses tomados como base neste trabalho, o que justifica as sombras pela imagem. Além disso, o relevo escarpado da Serra da Mantiqueira contribui para a presença mais significativa de sombras, conforme também visto por Herrmann (2008).

O ano de 2005 destacou-se na análise, apresentando erros que impossibilitaram a confiabilidade da interpretação. Neste ano, o comportamento principalmente das classes de solo exposto e áreas urbanas foi atípico, destoando do esperado significativamente quando considerada a área total e a área de entorno. Neste mesmo ano, a classe outras apresentou os maiores valores, o que significa que parte do terreno não foi devidamente classificado, confundindo-se com as demais classes.

CAPÍTULO 6 - DISCUSSÕES

6.1. ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA

A análise temporal das imagens de satélite foi fundamental na avaliação das mudanças ocorridas no uso da terra e cobertura vegetativa da Serra da Mantiqueira, sendo que sem este recurso a montagem e verificação do histórico de áreas naturais não seriam possíveis.

Constatou-se que em virtude do processo inicial de ocupação da Serra da Mantiqueira por atividades agropecuárias, a área de estudo teve como classe predominante na ocupação territorial as atividades agrícolas, que abrangem áreas de pasto e de culturas em diferentes estágios de desenvolvimento. A classe ocupou 66%, 70,56%, 52,75% e 63,20% nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015, da área total respectivamente, segundo resultados da classificação MAX VER. Para o IVDN a representatividade foi de 70,21%, 64,56%, 59,64% e 52,95 % para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015, respectivamente.

De acordo com Carvalho *et al.* (2000) uma das principais consequências da expansão agropecuária é o desmatamento para atender o espaço para desenvolvimento da atividade. Ao longo do processo de desenvolvimento as paisagens rurais foram drasticamente alteradas segundo Allan (2004). Soma-se a isto a redução da diversidade animal, o pisoteio e a intensidade de forrageamento, que geram implicações na regeneração do sistema florestal, empobrecem e compactam os solos, além de facilitarem a erosão das encostas (CARVALHO *et al.*, 2000). Outros impactos relacionados a atividade agropecuária são a falta de planejamento do uso do solo (adequação quanto a aptidão agrícola), preparo inadequado, uso inadequado de maquinários e agrotóxicos (BRAGNOLO; PAN, 1997), queimadas e a falta de utilização de práticas conservacionistas na agricultura (ANA, 2009).

Essa ocupação traz como consequências o empobrecimento do solo, aumento da erosão hídrica e a poluição dos mananciais. Estima-se que 80% das pastagens cultivadas no Brasil Central, responsáveis por mais de 55% da produção nacional de carne, encontram-se em algum estágio de degradação (CORDEIRO *et al.*, 2016).

Cabe ainda dizer que pesquisas indicam que a pecuária contribui para a emissão de gases de efeito estufa (GEE), como metano e óxido nitroso (N₂O) (MARENGO, 2007; BERNDT, 2016). No Brasil, pelas Estimativas Anuais de Emissões de GEE do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), a agricultura e a pecuária foram responsáveis por 37% das emissões nacionais em 2010 e a mudança do uso da terra, por 15% (BRASIL, 2010).

Estudos relatam as consequências da alteração da cobertura vegetativa. Por exemplo, Pinto *et al.* (2009) verificaram diferença na qualidade da água do ribeirão Lavrinha, MG, em

áreas que apresentavam diferentes coberturas do solo, na qual o solo coberto com pastagem apresentou pior qualidade da água que a área coberta com floresta. Vanzela *et al.* (2010) observaram que áreas com agricultura, contribuíram com a degradação da qualidade da água. Dupas (2001), Cunha *et al.* (2011) e Costa *et al.* (2013) registraram impactos adversos na cobertura vegetal do município de São Carlos (SP) como consequência do intenso crescimento urbano e agropecuário. Na mesma bacia Guidolini *et al.* (2013) relataram que no intervalo de seis anos (2005 a 2011) houve mudanças significativas e alarmantes na cobertura vegetal, devido ao aumento das áreas cultivadas, expansão urbana e solo exposto.

Observou-se que a classe de atividades agrícolas tem reduzido nos últimos trinta anos. Considerando a área total houve redução de 2,8% de ha e 17,21% de ha da área das APAS. Na área de entorno houve aumento de 1,36% de ha de atividades agrícolas, fato que pode ter ocorrido pela presença de solos preparados para cultivo e cultivos presentes na região nesta classe.

No entorno da Serra da Mantiqueira destaca-se a presença da atividade agropecuária, setor de turismo e especulação imobiliária. Na parte que cabe a Minas Gerais verifica-se a presença da pecuária, culturas de milho, café, feijão, batata, hortaliças e ainda de frutos cítricos, desenvolvidos por pequenos produtores rurais. No estado de São Paulo, mas especificamente no Vale Paraíba destaca-se a cultura de eucalipto principalmente para produção moveleira e áreas de cultura de arroz irrigado.

De acordo com pesquisas feitas aos últimos dados do Censo Agropecuário do IBGE (2006) houve uma redução na área total de pastagens nos últimos 10 anos e dos estabelecimentos agropecuários nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo entre os anos de 1985 e 2006, considerando somente os dados dos municípios abrangidos pelo limite da área de estudo.

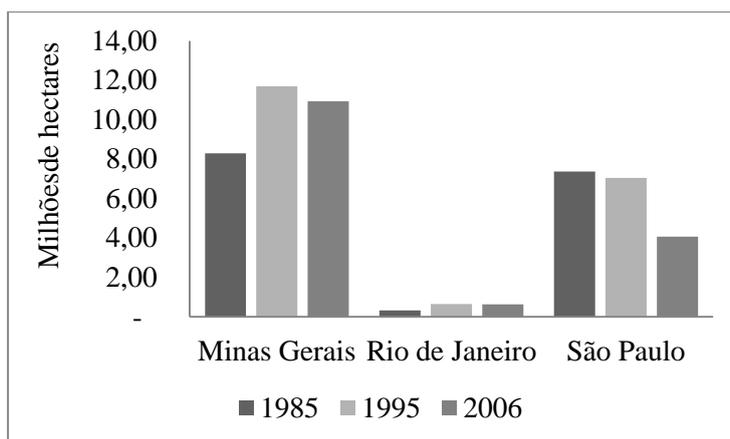


Figura 22 – Área destinada às pastagens em ha
Fonte: IBGE (2006)

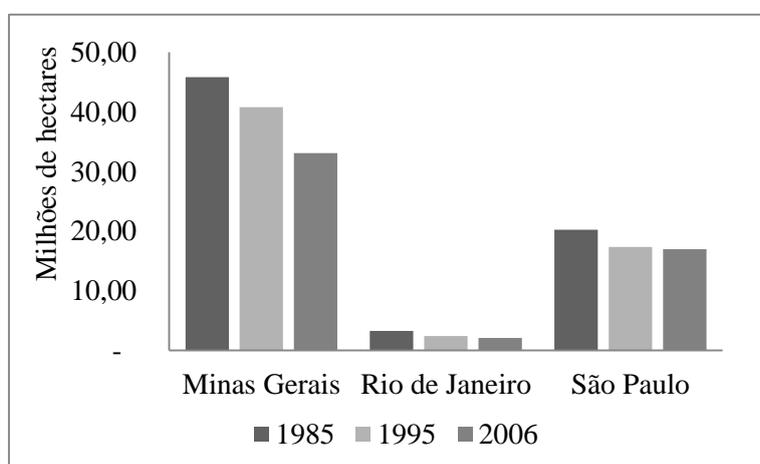


Figura 23 - Área ocupada por estabelecimentos agropecuários em ha
Fonte: IBGE (2006)

Observou-se neste estudo a regeneração da mata nativa sobre as áreas de pastagem no período entre 1985 e 2015. A classe de mata nativa abrange fragmentos da mata original, incluindo matas ciliares, e vegetações em diferentes estágios sucessionais, assim como vegetação de pasto sujo. Considerando a área das APAS o aumento da mata nativa neste período alterou o cenário da paisagem antes dominada por pastagens. No último ano da série analisada a mata nativa correspondeu a 49,32% do território segundo análise MAX VER.

O século XX apresentou desmatamento acelerado nas regiões tropicais mundiais, entretanto, há indícios de que as taxas vêm reduzindo devido a iniciativas de reflorestamento e regeneração florestal natural (CHAZDON, 2012). Países como o Vietnã, Costa Rica, El Salvador, Porto Rico e Índia apresentaram um aumento líquido da cobertura florestal ao longo dos últimos dez a vinte anos (CHAZDON, 2008).

No Brasil dados recentes da Fundação SOS Mata Atlântica (2016) registraram o declínio no desflorestamento anual a partir do ano 2000 (Figura 18).

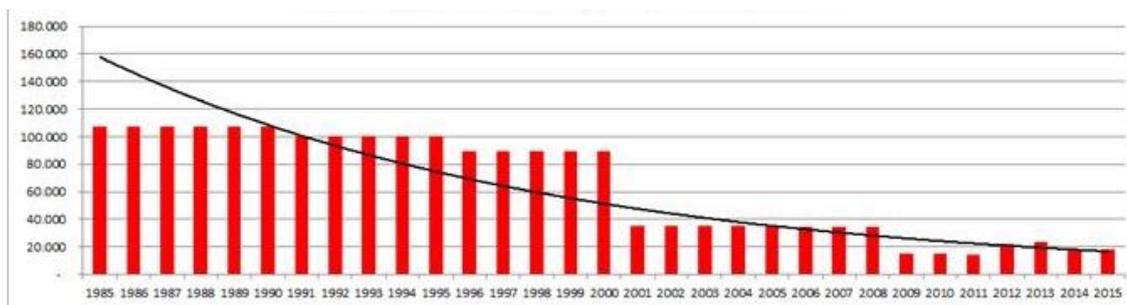


Figura 18 - Gráfico de taxa de desmatamento anual (ha/ano).

Fonte: Fundação SOS Mata Atlântica (2016).

Em consulta aos dados do Censo Agropecuário (IBGE 2006) é possível verificar o reestabelecimento de áreas de mata nativa nos municípios dentro dos limites da área de estudo nos estados de Minas Gerais e São Paulo, entre os anos de 1985 e 2006 (Figura 19).

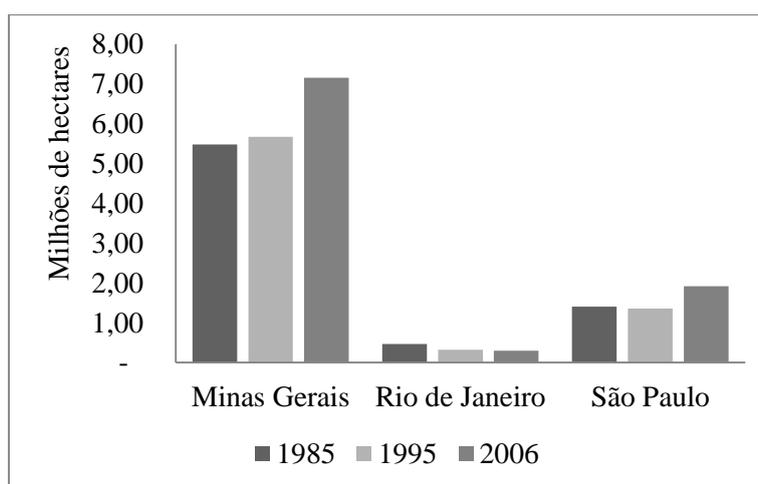


Figura 24- Áreas ocupadas por matas nativas.

Fonte: IBGE (2006)

Estes resultados corroboram ainda com estudos de Ronquim *et al.* (2016) que analisaram 1.395.975 ha do Rio Paraíba do Sul entre os anos de 1985 e 2015. Constataram neste período o aumento de 205.690 ha de floresta nativa. Além disso, estimaram a captura e estocagem de 35.5 teragrama de carbono, contribuindo significativamente na redução de CO₂ da atmosfera e na redução das emissões por desmatamento e degradação da mata nativa. Também corrobora com estudo de Siane (2016) realizou a análise da Área de Proteção Ambiental Mananciais do Rio Paraíba do Sul e também constatou aumento das áreas de florestas nativa entre 1985 e 2015 e redução das áreas de pastagens. Em 1985, mais de metade do território da APA era coberta por ‘Pasto/Gramíneas’ – 51,4%. Nos períodos seguintes, apresentou 47,9%; 47,6%; 45,5%, e 32,5%, para os anos 1991, 2000, 2010 e 2015

respectivamente. As classes de coberturas florestais, por sua vez, aumentaram entre 1985 e 2015. Em 1985 representaram 23,7% do território em 1985 e expandiu para 32,4% (94.778 ha) em 2015.

A recuperação da vegetação pode, segundo Cunningham *et al.* (2015), contribuir na formação de corredores ecológicos, aumentando o movimento, fluxo gênico e o tamanho de populações de espécies nativas; restaurar o ciclo biogeoquímico de carbono, oxigênio e nutrientes na atmosfera, biomassa, pedosfera e hidrosfera; melhorar a biodiversidade o que pode resultar no aumento da produção primária, redução da susceptibilidade à invasão por espécies exóticas e maior resistência ecológica a pressões como a mudança climática; e ainda mitigar diretamente a mudança climática ao sequestrar o carbono atmosférico, tanto acima como abaixo do solo.

De acordo com Chazdon (2008) as matas regeneradas na região tropical não substituem as matas primárias. Contudo, de acordo com Pan *et al.* (2011) são fontes potenciais de sequestro de carbono atmosférico, compensando parcialmente as emissões globais de carbono, sendo estimado que o sumidouro, em escala global formado por florestas tropicais em recrescimento, tenha atingido $1,7 \pm 0,5$ PgC/ano de 2000 a 2007, valor mais alto do que florestas primárias.

Algumas hipóteses foram levantadas para o reestabelecimento das áreas de mata nativa e a redução de áreas agrícolas na área da Serra da Mantiqueira: regeneração ativa a partir de iniciativas locais em cumprimento por parte dos proprietários rurais a Lei 12.651/2012 que protege a vegetação nativa e estabelece critérios para estabelecimento de áreas de reserva legal e áreas de preservação permanente dentro dos imóveis rurais, o abandono de terras por parte dos produtores e regeneração natural ou o aumento de áreas de florestas de eucalipto não identificadas na classificação do uso e cobertura da terra.

Segundo Chazdon (2008) o reflorestamento decorre de três situações gerais: (1) fabricação de produtos madeireiros e não madeireiros em escala comercial ou doméstica; (2) regeneração natural de florestas e recuperação de serviços ecossistêmicos; e (3) conservação da biodiversidade.

O abandono de terras pelos proprietários pode ocorrer tanto por fatores socioeconômicos, falta de incentivo de políticas públicas, como de características físicas da terra, como relevo, fertilidade (CHAZDON, 2008). Na área da Serra da Mantiqueira houve intenso período de exploração, mas a declividade restringiu a atuação de produtores em algumas regiões.

Outra hipótese seria o reflorestamento por parte de projetos locais, como por exemplo, o pagamento por serviços ambientais. Entretanto na região estudada ocorrem somente três ações, o Projeto Conservador de Água em Extrema, Minas Gerais, o Programa

Produtor de Água no PCJ em São Paulo e Programa Produtor de Água em Guaratinguetá também no estado de São Paulo.

Sobre a classe eucalipto, cabe salientar que a semelhança espectral entre esta e áreas de mata nativa impossibilita análises conclusivas da real distribuição das culturas. Entretanto, sabe-se que na região do Rio Paraíba há forte potencial de desenvolvimento da atividade (FREITAS-JUNIOR *et al.*, 2012). Estima-se que somente as regiões Sul e Sudeste, englobando a área de estudo deste trabalho, foram responsáveis por 81% da produção de madeira de eucalipto em 2013, espera-se que esta aumente entre 2015 a 2025 (CONTINI *et al.*, 2006).

Neste trabalho a área identificada como eucalipto teve incremento de 1.258,20 ha considerando a área total e 3.531,26 ha. considerando a área de entorno que abrange as proximidades do Rio Paraíba do Sul. Em pesquisa recente Siani (2016) identificou um incremento 12.057,70 ha, segundo o autor a área triplicou dentro da região do Vale Paraíba entre 1985 e 2015.

Verificou-se ainda a expansão das áreas urbanas e de solo exposto no entorno e dentro das APAS, o que corresponde na maioria das vezes, a uma ocupação desordenada do solo, originando problemas ambientais, principalmente nas áreas protegidas.

O aumento de áreas impermeáveis, como resultado do processo de ocupação urbana, é responsável por perda significativa dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, (SCHUELER, 1995; BLEDSOE; WATSON 2001; CHAVEZ; SANTOS, 2009), diminuindo a quantidade de água infiltrada para os lençóis freáticos, (ELMQVIST *et al.*, 2013) sendo identificado como um importante fator de degradação da saúde de bacias hidrográficas (MORAWITZ *et al.*, 2006) e assim impactando sobre a sustentabilidade hídrica das cidades (TUCCI; CLARKE, 1997).

Costa *et al.* (2013) analisou 44 anos de expansão urbana e do crescimento populacional de São Carlos e evidenciou que a superfície impermeabilizada aumentou 309,9% enquanto que a população aumentou 226,1%, com consequências refletidas no avanço da ocupação em áreas de mananciais, fragmentando a cobertura vegetal natural remanescente e consequentemente a vegetação ripariana.

6.2. ANÁLISE DAS TRANSFORMAÇÕES ANTRÓPICAS

Na análise das transformações antrópicas o indicador ITA é uma importante ferramenta para a compreensão da magnitude do uso da terra, conforme também observado por Cocco *et al.* (2014). Gouveia *et al.* (2013), por exemplo, evidenciaram, a alteração drástica da paisagem da Bacia do Córrego do Bezerro Vermelho em Tangará da Serra – Mato

Grosso, através do Índice de Transformação Antrópica, o qual apresentou aumento de 4,75 para 5,88 entre 1984 e 2011, classificando a bacia de regular a degradada como consequência, principalmente, da expansão das atividades agrícolas. Cocco *et al.* (2015) avaliaram a intensidade da transformação antrópica na Bacia do Rio do Sangue – Mato Grosso, o qual exibiu um aumento do nível de antropização, passando de pouco degradado em 1990 para regular em 2000 e 2010 devido ao aumento de pastagem, agricultura, massas d'água e outros usos antrópicos; e diminuição da vegetação natural. O ITA ainda possibilitou ao autor inferir o nível degradado da bacia no ano de 2045 através de uma análise de regressão.

Houve dificuldade no estabelecimento de pesos das classes de uso do solo, isto porque poucas publicações são encontradas atualmente. Salienta-se que os pesos são adotados conforme as características da região. Por exemplo, nos trabalhos mencionados anteriormente os pesos foram atribuídos segundo o uso do solo da região de Mato Grosso, que se difere da região da Mantiqueira por esta abranger áreas de Mata Atlântica, e pela agropecuária basear-se em produções de pequena escala. Deste modo, o refinamento das avaliações deve ser realizado para adequar os pesos a realidade da área de estudo.

Não foi encontrado em estudo anterior peso para classe de solo exposto. Por esta classe apresentar maior vulnerabilidade, ou seja, ser mais susceptível a transformações, como por exemplo, aos processos erosivos que áreas com cobertura vegetativa, atribuiu-se a esta classe maior peso de transformação antrópica que a pastagem. Ponderando ainda sobre a estrutura urbana que é um ambiente totalmente transformado.

Neste trabalho através do ITA foi possível constatar o grau da transformação antrópica da paisagem da Serra da Mantiqueira. Além disso, evidenciou-se através do indicador a redução de áreas muito degradadas na área como resultado da conservação e regeneração de áreas de mata nativa. Distinguiu-se ainda que mudanças mais significativas (e negativas) ocorreram na área de entorno das APAS consideradas.

O processo de urbanização na região da Serra foi responsável pela degradação da área, assim como as atividades agrícolas ali desenvolvidas. Segundo os dados do ITA de forma geral a região de estudo encontra-se atualmente em estado degradado, condição esta que permaneceu por todo o período analisado, mesmo com a recuperação de áreas de cobertura vegetal.

No entorno, a ocupação traz danos irreversíveis as UCS uma vez que normalmente essa ocupação se dá sem planejamento ambiental adequado (RODRIGUES *et al.*, 2014). Corroborando com esta afirmativa Martinuzii *et al.* (2015) diz que as atividades desenvolvidas no entorno das UC exercem influência sobre os recursos naturais da mesma. O autor destaca que mudanças no uso da terra circundantes podem reduzir e fragmentar os

habitats disponíveis e gerar outras perturbações como consequência, o valor de conservação da área é ameaçado.

Segundo Popradit (2015) mesmo florestas protegidas, a expansão de atividades antrópicas, como a colheita de plantas medicinais, pastoreio de gado e incêndios florestais podem induzir modificações ambientais, especialmente na cobertura florestal. O autor identificou a redução da diversidade de espécies de plantas lenhosas linearmente em direção as cidades vizinhas a área protegida, o que causou uma perda de densidade individual de pequenas mudas, impactando na regeneração florestal.

Pimentel (2008) relata que a criação de espaços protegidos é considerada uma importante estratégia de gestão do território, com objetivo de regular as dinâmicas de uso e ocupação da terra. Entretanto, apesar das legislações que regem sobre estas áreas, pouco ou nenhum planejamento ocorre no processo de uso e ocupação da área de entorno.

6.3. ANÁLISE DAS PRESSÕES SOBRE O USO DO SOLO E PROPOSTA PARA ÁREAS PRIORITÁRIAS

A metodologia da AMC empregada na análise das pressões sobre o uso do solo e análise das áreas prioritárias para recuperação ambiental possibilita a espacialização dos dados para localização de áreas onde são necessárias ações de intervenção para mitigação dos impactos ambientais.

Percebeu-se que a região que compreende as APAS da Serra da Mantiqueira e Fernão Dias apresenta forte ocupação populacional e em confronto estão áreas de relativo interesse para proteção devido a rica biodiversidade e prestação de serviços ambientais, principalmente os hidrológicos.

Neste trabalho a análise das pressões sobre o uso do solo considera a proximidade das malhas viárias e de áreas urbanas para identificar as áreas ameaçadas pelo impacto antrópico. Cabe dizer que não houve pretensão de esgotar os impactos provocados por estes fatores no trabalho. Baseado no fato de que as estradas passam por processo de licenciamento ambiental para execução das atividades, estas receberam peso menor do que áreas urbanas em que na maioria das vezes não segue um planejamento. Contudo estudos mais aprofundados são necessários para identificar qual desses fatores, dentro das características da área de estudo, conduzem a maiores impactos sobre os recursos naturais.

O cenário construído a partir do cruzamento das informações de malha viária e manchas urbanas permitiu identificar que mais da metade, cerca de 58,82%, dos recursos naturais da Serra da Mantiqueira estão ameaçados pelas obras urbanas. A área protegida

analisada tem 35,44% dos recursos ameaçados, sendo que deste 16,95% corresponde a áreas de remanescentes de vegetação nativa.

De acordo com Forman e Deblinger (2000), a estrutura viária é um fator que contribui para a descaracterização das áreas protegidas, através da remoção da cobertura vegetal original e alteração da função e a estrutura da paisagem. Além disso inferem sobre a perda de biodiversidade (HAYWARD *et al.*, 2010; BAGER *et al.*, 2016), aumento da compactação e redução da filtração do solo (RILEY, 1984), aporte de sedimentos para os cursos hídricos (BAGER *et al.*, 2016 *apud* SEYEDBAGHERI, 1996), agravamento de processos erosivos (BRAGAGNOLO; PAN, 2000; ZOCCAL *et al.*, 2007), aumento da fragilidade ambiental (GAROFALO; FERREIRA, 2015) sendo os impactos potencializados quando construídas sobre unidades de conservação (BAGER *et al.*, 2016).

De forma semelhante o processo de urbanização contribui no declínio de muitos serviços ecossistêmicos, gerando riscos aos estoques de água, poluindo o ar e os solos. Em estudo de Li *et al.* (2016) observou-se que o processo de expansão urbana foi responsável pela redução da produção de alimentos, sequestro de carbono, armazenamento de água no solo e sustentabilidade do habitat. Segundo McDonald *et al.* (2008) 8% das espécies de vertebrados terrestres na Lista Vermelha da IUCN estão em perigo grande parte por causa do desenvolvimento urbano.

Dentro do cenário construído de pressões foram identificadas áreas de solo descoberto em regiões de alta a extremamente alta pressão antrópica. O que pode conduzir a processos erosivos na região já que a erosão dos solos é influenciada pela ausência de cobertura vegetativa, e ainda características como a chuva, topografia e tipo de solo (GUADAGNIN *et al.*, 2005). Estes pontos são considerados susceptíveis e por isso ações de manejo são indicadas como forma de mitigação da perda que poderá influir sobre os recursos hídricos da região. Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente, 92% dos deslizamentos ocorreram em áreas com algum tipo de alteração no ecossistema (MMA, 2011). Portanto, caso não sejam adotadas medidas de ordenamento territorial conjuntamente com a recuperação de APP e Reserva legal, os riscos associados a novos eventos erosivos não serão mitigados.

Além disso, áreas de remanescentes de vegetação natural foram identificadas fora das áreas protegidas pela legislação ambiental. Tal fato traz à tona a necessidade de medidas conservacionistas locais para manutenção dos recursos naturais da região da Serra da Mantiqueira.

As áreas protegidas da região caracterizaram-se como ameaçadas pelo processo de urbanização ao redor e dentro das áreas. Destaca-se ainda a falta do plano de manejo das UCS, em especial da APA da Serra da Mantiqueira, relatado também por Becker *et al.*

(2013). Tal fato é ainda mais preocupante quanto espera-se que o desenvolvimento das cidades esteja expandindo sobre as áreas protegidas. Por exemplo, a distância média de uma área protegida para uma cidade no leste da Ásia está previsto para cair de 43 km para 23 km em 2030 (MCDONALD *et al.*, 2008).

A falta do plano de manejo torna a UC mais vulnerável a expansão urbana, atividades agrícolas, extrativistas e outras. De forma genérica, o Artigo 27 do Decreto 99.274/2002 estabelece o limite de 10 km para esta área. Pesquisas, entretanto, indicam que atividades antrópicas desenvolvidas em até 50 quilômetros de áreas protegidas tendem a impactá-la negativamente (MCDONALD *et al.*, 2009). Este trabalho identificou ameaças potenciais aos recursos naturais em distância de aproximadamente 30 km das UCS.

Dentro deste cenário apresentado de forte urbanização e presença de áreas que podem implicar em risco para conservação dos recursos hídricos construiu-se um mapa de áreas prioritárias para este fim por meio da AMC.

Para a elaboração do mapa utilizou-se o plano de informação obtido da Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) do ano de 2015 para Serra da Mantiqueira e entorno elaborado por Da Silva (2016), a rede hidrográfica obtida da Agência Nacional das Águas, de onde foram extraídos os cursos d'água e as nascentes e respectivas áreas de preservação permanente (APPS) conforme estabelecido pela Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

A EUPS envolve a combinação de fatores intrínsecos a perda de solo (erosividade, erodibilidade, declividade, relevo, uso do solo, fatores conservacionistas), sendo que resultados acima de 50 ton./ha/anual são segundo Irvem (2003) estimadas de severa a extremamente severa a expectativa de perda de solo.

Não foi encontrado na literatura trabalhos que abordem a EUPS para avaliação de áreas prioritárias para recuperação ambiental. Contudo, de acordo com as pesquisas bibliográficas realizadas, Francisco (2006) integrou resultados de erodibilidade e declividade no estabelecimento de prioridades para recuperação de APP e o autor Vetorazzi (2006) uniu dados de erosividade e erodibilidade a outros fatores para determinação de áreas de recuperação ambiental.

O fator de expectativa de perda de solo é relevante no levantamento de áreas prioritárias para recuperação ambiental que visa à reestruturação e manutenção da provisão do recurso hídrico. Uma vez que o aumento da erosão e o assoreamento dos cursos d'água impactam negativamente sobre o ciclo hidrológico e contribuem com a perda da qualidade e quantidade dos recursos hídricos (TUNDISI *et al.* 2010), afetando negativamente também a biota aquática.

A proximidade a cursos d'água foi um dos fatores adotados em avaliações multicritérios conduzidas por Dragan *et al.* (2003), Ferraz e Vettorazzi (2003), Valente e

Vettorazzi (2005) e Vetorazzi (2006). O mapa foi elaborado a partir da rede de drenagem obtida em formato vetorial disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA) – Hidroweb. Segundo Vetorazzi (2006) a inclusão deste fator para o estabelecimento de áreas prioritárias para recuperação ambiental parte do princípio de que a cobertura vegetativa é importante para a produção de água independente da distância aos elementos hidrográficos.

Na região estudada foi possível identificar que 60% de áreas altamente prioritárias para recuperação ambiental na área de estudo, estando estas localizadas principalmente próximas as nascentes. Nas APAS cerca de 73% tem de prioridade alta a extremamente alta, o que se deve ao alto número de nascentes e cursos d'água na região.

A vegetação da Mata Atlântica passou por anos de devastação e fragmentação. Diante disso há necessidade de recompor estas áreas em especial as que protegem os recursos hídricos e contribuem para manutenção do ciclo hidrológico.

No Brasil, além da Lei 12.651/2012 que rege sobre os usos e caracteres protetivos e conservativos da vegetação nativa existem compromissos assumidos que demandam não só a preservação e conservação das áreas existentes, mas também a recuperação de ecossistemas (BRASIL, 2014).

Segundo a SAE (2013) o Brasil possui 21 milhões de ha (Mha) de APP e de Reserva Legal que necessitam ser recuperadas, da Mata Atlântica somente a área de APP soma 1,5 Mha. Nas áreas de UCS estima-se um passivo de 5 milhões de ha de mata nativa (SOARES-FILHO *et al.*, 2014).

Em termos de carbono estima-se que a recuperação desta vegetação contribuirá no sequestro de 1 bilhão de toneladas de carbono no prazo de 20 anos (SAE, 2012). Além disso, a recuperação da vegetação em áreas de APP, RL, áreas degradadas e outras poderá reduzir a escala da pobreza através de iniciativas como o pagamento por serviços ambientais, criação de postos de trabalho, prevenção de eventos como enchentes e deslizamentos, contribuirá na segurança hídrica, manutenção do clima e conservação da biodiversidade (BRASIL, 2014).

Por fim, foram realizados cruzamentos espaciais entre áreas de pressões sob uso do solo para fins urbanos com áreas identificadas como prioritárias para recuperação e conservação dos recursos hídricos o que permitiu identificar que 31,76% da área estão ameaçadas em alto grau pelas atividades humanas estando ainda inseridas em áreas de alta a extremamente alta prioridade de recuperação em função da proximidade a áreas de recursos hídricos, cursos d'água e nascentes. Na área das APAS 24,9% são áreas onde são necessárias ações de intervenção para mitigação dos impactos ambientais, tanto na recuperação de áreas degradadas em virtude do processo de urbanização e ocupação desordenada do território, quanto pela presença de áreas de nascentes e cursos d'água, especialmente.

CAPITULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar as mudanças ocorridas no uso da terra e cobertura vegetativa através de diferentes indicadores ambientais, nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 na APA da Serra da Mantiqueira e na APA Fernão Dias, bem como no entorno próximo até 30 km, a fim de subsidiar informações espaciais para a prescrição de ações de gestão e manejo mais eficazes.

A utilização de ferramentas do SR integrada ao SIG forneceu um ambiente flexível e robusto de análise permitindo associar mapeamentos de uso e cobertura e indicadores ambientais de transformação antrópica e índice de vegetação.

Dentre as contribuições destaca-se primeiramente a construção de um banco de informações que possibilitará o aproveitamento do mesmo para o desenvolvimento de outros estudos na área da Serra da Mantiqueira, região prioritária para conservação, mas ainda com muitas lacunas de conhecimento científico.

O mapeamento da cobertura da terra indicou o predomínio das atividades agrícolas na região como um todo seguida das áreas de vegetação nativa. O que se deve ao processo inicial de ocupação e desenvolvimento da Serra da Mantiqueira. As áreas agrícolas, incluindo pastagens e culturas em diferentes estágios de desenvolvimento, abrangiam quase metade da área das APAS Fernão Dias e Serra da Mantiqueira. O que contribuiu ao longo do período na degradação do solo, desmatamento das florestas nativas e perda de recursos hídricos e biodiversidade. Entretanto, no ano de 2015 observou-se que estas passaram a ocupar menos da metade, cerca de 38%. Especula-se sobre o abandono de pastos por pequenos produtores, o cumprimento por parte dos proprietários rurais a Lei 12.651/2012 ou ainda aumento de áreas de florestas de eucalipto não identificadas na classificação do uso e cobertura da terra.

Em especial, a área de eucaliptos teve aumento no período considerado. Apesar da dificuldade de classificação, na região há forte tendência de expansão da atividade. O reflorestamento com eucaliptos vem crescendo consideravelmente, assim como sua destinação para a indústria. No entanto, sem o manejo adequado esta monocultura pode aumentar os riscos de erosão, o assoreamento e o nível de poluentes dos corpos hídricos, com graves consequências para a qualidade e quantidade de água.

Com relação aos objetivos específicos, estes foram alcançados, cabendo acrescentar que ao aplicar duas técnicas para avaliar a dinâmica temporal no uso e cobertura da terra foi possível observar semelhanças e diferenças no comportamento temporal das classes. O fato das classes floresta nativa e atividades agrícolas terem apresentado semelhança no

comportamento pode comprovar a veracidade das informações prestadas pela classificação, todavia, as diferenças destacaram as dificuldades.

A aplicação do ITA por sua vez permitiu identificar que o aumento da mata nativa contribuiu na melhora de 20% da qualidade ambiental da região das APAS, enquanto no entorno a região teve piora, devido principalmente ao aumento da urbanização, solo exposto e de áreas agrícolas. Esta informação é de grande valia, uma vez que questões de recuperação vegetativa têm sido discutidas pelos órgãos governamentais no combate a mitigação das mudanças climáticas, e conservação de recursos como a água. Além disso, a recuperação da vegetação contribui no reestabelecimento de processos de ciclagem de nutrientes, regulação climática local, polinização, fornecendo importantes serviços ecossistêmicos para melhorias na qualidade vida.

A última parte do trabalho foi construir cenários que fornecessem suporte a gestores e tomadores de decisão na área da Serra da Mantiqueira. A metodologia aplicada permitiu a localização das áreas prioritárias para recuperação e conservação da cobertura vegetativa, e para intervenções que possibilitem mitigar as perdas de solo.

Foram identificados locais com necessidade de recuperação ambiental das áreas de floresta nativa, dentro da área das APAS, e ainda locais fora das UCS, onde devem ser empregadas ações de conservação ambiental. Além disso, foram identificadas alterações ambientais significativas na área de até 30 quilômetros das APAS que podem reduzir e fragmentar os habitats disponíveis e ainda gerar outras perturbações colocando em risco a conservação dos recursos naturais, como maior incidência de queimadas e redução da biodiversidade. Destacou-se o fato de que as APAS em questão possuem deficiências quanto a elaboração do Plano de Manejo, que tem como intuito regular e monitorar o desenvolvimento de atividades em áreas protegidas sustentáveis.

Outro aspecto que cabe ser considerado diz respeito as áreas de solo exposto identificadas em região de alta a extremamente alta pressão sob o solo. Para a área das APAS, tal fato é ainda mais impactante, levando em consideração a biodiversidade da região e a fragilidade quanto as ações antrópicas. Arelado a isto constatou-se que a população da região vem aumentando consideravelmente, podendo aumentar os níveis de ameaça sobre as áreas protegidas. O aumento populacional ao redor de áreas protegidas oferece riscos para a conservação dos recursos hídricos, baseado nas causas e efeitos do carreamento de sedimentos, como o assoreamento, contaminação dos cursos d'água pela introdução de poluentes, eutrofização e outros, que podem comprometer a disponibilidade do recurso hídrico para o abastecimento de cidades e para a seguridade do serviço de abastecimento elétrico.

7.1. CONCLUSÕES

1. 63,20% da região estudada é dominada pelas atividades agropecuárias, que incluem as pastagens, culturas em diferentes estágios de desenvolvimento, em virtude do processo inicial de ocupação da Serra da Mantiqueira pela atividade pecuária e leiteira. Atualmente, como reflexo do processo de ocupação, a área da Serra da Mantiqueira estudada de forma geral encontra-se degradada.
2. Cerca de 28,62% de remanescentes florestais persiste frente as pressões antrópicas principalmente nas partes mais íngremes e em topos do morro da Serra, além de porções espalhadas pelo território analisado
3. No último ano da série observou-se que as áreas agrícolas não mais abrangiam a maior parte da área das áreas protegidas sendo substituída pela regeneração da cobertura vegetativa em 79.313,17 ha. Tal fato contribuiu com a melhoria de 20% da qualidade ambiental da região como um todo.
4. 58,82% dos remanescentes vegetativos da Serra da Mantiqueira estão ameaçados pela expansão antrópica. 35,34% estão altamente ameaçadas nas APAS. Soma-se a isto o rápido crescimento populacional verificado na região com aumento de cerca de 40% de habitantes entre 1985 e 2015.
5. 16,95% da área ameaçada das UCS correspondem a áreas de remanescentes de florestas da Mata Atlântica, colocando em risco a conservação dos recursos naturais locais.
6. No entorno, as áreas transformadas pelo homem (atividades agrícolas, solo exposto e áreas urbanas) aumentaram em 69.783,92 ha, condicionando a área ao estado muito degradado em cerca de 70% da área. Tais fatores configuraram um cenário de intensas ameaças as UCS, com significativos 65,37% da área sob alta a extremamente alta pressão dos recursos naturais.
7. Restam ainda 18% de áreas no entorno sob baixa a extremamente baixa pressão, e desta 2,69% é extremamente baixa
8. 36,72% dos remanescentes florestais inseridos em alguma categoria de UC estão em áreas onde o grau de pressão é alto e extremamente alto. Do restante 63,28% dos remanescentes de vegetação natural não estão inseridos em categoria de UC.

7.2. RECOMENDAÇÕES

Dada a relevância da região na formação de importantes rios que contribuem no abastecimento hídrico e elétrico de milhões de pessoas e o previsto crescimento da demanda por recursos ambientais para os próximos anos, é recomendável que ações de recuperação eficazes, em especial, sobre as áreas localizadas com potencial risco de erosão. A perda de solo acelerada pelas pressões sobre o uso do solo, constitui-se em uma das causas da redução do volume de água dos reservatórios de geração de energia da perda de qualidade da água, aumento nos custos de tratamento e ainda queda da produtividade agrícola e aumento dos custos para melhoria das condições do solo. Torna-se assim necessário não só a recuperação da vegetação nativa nestas regiões mais também o estabelecimento de planos de uso e cobertura para minimizar os efeitos da perda de solo, aliado a adoção de práticas conservacionistas e manejo adequado. A alteração do uso da terra no entorno das áreas protegidas traz a necessidade urgente da elaboração e aplicação do plano de manejo para controlar os usos e efeitos negativos da ação antrópica sobre as UCS. A fim ainda de colaborar com melhorias no refinamento das informações sugere-se o emprego de imagens de satélite de alta resolução nas análises de uso e cobertura e a utilização de mais planos de informação na definição das áreas prioritárias e de pressão do uso do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. 4. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2007. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/graduacao/apoio/Apoio/Apoio_Attila/2s2015/excursosoes/Dominios_de_Naturea_151p.pdf>. Acesso em: 20 maio 2015.
- ABREU, K. M. P.; COUTINHO, L. M. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. **Vértices**, v. 16, n. 1, p. 177-202, 2014.
- ABUELAISH, B.; OLMEDO, M. T. C. Scenario of land use and land cover change in the Gaza Strip using remote sensing and GIS models. **Arabian Journal of Geosciences**, Arabian, v. 9, n. 274, p. 1 – 14, 2016.
- ALGARVE, V. R. **Impactos do uso e cobertura da terra na região da Mata Atlântica Paulista: clima presente**. 2013. Tese de doutorado em Meteorologia – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, São José dos Campos, 2013.
- ALLAN, J. D. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems, **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, p. 257-284, 2004.
- ALMEIDA, T.; MENESES, P. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. 1 ed. Brasília: Universidade de Brasília, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2012.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **HidroWeb: Sistemas de Informações Hidrológicas**. Brasília: ANA, 2016. Disponível em: <<http://www.hidroweb.ana.gov.br>> Acesso em: 15 ago. 2016.
- ÁNGELES, G. R.; GIL, V. Identificación del grado de transformación antrópica y riesgo ambiental en cuencas fluviales serranas: el caso de la cuenca del arroyo El Belisario (Argentina). **GeoFocus**, n. 6, p. 138-151, 2006.
- ANTUNES, R. L. DOS S. **Variação espaço-temporal de NDVI em área de aproveitamento hidroelétrico-UHE Santo Antônio, Porto Velho (RO)**. Dissertação de mestrado em Geografia — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, junho, 2012.
- ARCOVERDE, G. F. B.; DE ALMEIDA, C. M.; XIMENES, A.; DE C.; MAEDA, E. E. ; DE ARAÚJO; L. S. Identificação de áreas prioritárias para recuperação mata nativa com o uso de rede neural de mapas auto-organizáveis, **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 17, n. 3, p. 379-400, 2011.
- BAGER, A.; LUCAS, P. DA. S.; BOURSCHEIDT, A.; KUCZACH, A.; MAIA, B. Os Caminhos da Conservação da Biodiversidade Brasileira frente aos Impactos da Infraestrutura Viária. **Biodiversidade Brasileira**, v.6, n. 1, p. 75-86, 2016.
- BALBINOT, R.; DE OLIVEIRA, N. K; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A. F. The forest role in the hydrological cycle at hydrological basins. **Ambiciência**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.
- BANNARI, A.; MORIN, D.; BONN, F.; HUETE, R. A review of vegetation indices, **Remote Sensing Reviews**, v. 13, n. 1, p. 95 – 120, jan., 1996.

BECKER, C. G.; RODRIGUEZ, D.; ZAMUDIO, K. R. The Brazilian Adirondacks? *Science*, v. 340, n. 6131, p. 428-428, 2013.

BENITES, V. M.; CUNHA, T. J. F.; FERRAZ, R. P. D.; CAIAFA, A. N.; SIMAS, F.; MENDONÇA, E. S. **Caracterização dos Solos em Duas Topos sequências sobre Diferentes Litologias em Áreas Altimontanas na Serra da Mantiqueira**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2003.

BERNARDO, W. DOS S.; DE LIMA, C. E. S.; SANTOS, E. DE. M; DA SILVA, D. V.; GOMES, D. M.. Análise espaço-temporal da cobertura vegetal do município de Caetés-PE, através de dados de imagens de NDVI. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, n. 2, p. 936 – 946, maio/ago., 2015.

BERNDT, A. Impacto da pecuária de corte brasileira sobre os gases do efeito estufa. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 2016, Nova Odessa, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: [s.i.], 2016. Disponível em: <<http://www.researchgate.net/publication/266449105>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C; AMARAL, A. J.. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, p. 133 – 142, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n1/14.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

BERTONI, J. ; LOMBARDI-NETO, F. **Conservação do solo**. 3 ed. Piracicaba: Ícone, 1999. ISBN 8527401436.

BISHOP, Y. M.; FEINBERG, S. E.; HOLLAND, P. W. **Discrete Multivariate Analysis: Theory and Practice**. Cambridge: The MIT Press, 1975, p. 557.

BLEDSON, B. P.; WATSON, C. C. Effects of urbanization on channel instability, *Journal of the American Water Resources Association*, n.37, p. 255–270, 2001.

BOLSTAD, P. V.; LILLESAND, T. M. Improved classification of forest vegetation in northern Wisconsin through a rule-based combination of soils, terrain, and Landsat Thematic Mapper data. *Forest Science*, v. 38, n. 1, p. 5-20, 1992.

BRAGAGNOLO, N; PAN, W. A. Experiência de programas de manejo e conservação dos recursos naturais em microbacias hidrográficas. In: MUÑOZ, H. R. (Org.) **Interfaces da gestão de recursos hídricos: desafios da lei de águas de 1997**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2000. p.176-198

BRASIL. Lei nº 6.902. **Institui a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA)**. Brasília, DF, 27 de abril de 1981. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 15 jun. 2015

BRASIL. Decreto nº 91.304. **Dispõe sobre a Implantação de Área de Proteção Ambiental nos Estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, e dá outras providências**. Brasília, DF, 03 de junho de 1985. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

BRASIL. Decreto nº 38.92. **Dispõe sobre a criação da APA Fernão Dias**. Brasília, DF, julho de 1997. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Estimativas anuais de emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0226/226591.pdf> Acesso em: 02 mar. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG) – versão preliminar**. Brasília: MMA, 2014.

BRASIL. Câmara dos deputados. **Legislação Brasileira sobre meio ambiente**. Brasília: Edições Câmara, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Unidades de Conservação. Ministério do Meio Ambiente (CNUC/MMA)**. Brasília: MMA, 2014.

BRASIL. Lei nº 9.985. **Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC)**. Brasília, DF, 18 de julho de 2000. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 04 jun. 2015.

BUTT, A.; SHABIR, R.; AHMAND, S. S.; AZIZ, N. Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, Egito, v. 18, n. 2, p. 251 – 299, dez., 2015.

CAMPBELL, J.B. **Introduction to remote sensing**. The Guilford Press: New York, 1987, p. 281.

CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físico-químicos da água. **Química Nova**, v.23, n.5, p.618-622, 2000.

CASTANHEIRA, L. A. **Estudo das Mudanças de Uso e Cobertura da Terra no Parque Nacional da Serra do Cipó e Entorno no Período de 1989 a 1999**. Dissertação de mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil, 2008, 147p.

CAVALCANTE, T. D. M. **Planejamento do uso do solo em bacias hidrográficas. Estudo do caso do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP**. Dissertação de mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Itajubá, 2013.

CHAZDON, R. L. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. **Science**, v. 320, n. 5882, p. 1458-1460, 2008.

CHAZDON, R. L. Tropical forest regeneration. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi de Ciências Naturais**, v. 7, p. 195-218, 2012.

CHEN, B.; ZHANG, X.; TAO, J.; WU, J.; WANG, J.; SHI, P.; ZHANG, Y.; YU, C. The impact of climate change and anthropogenic activities on alpine grassland over the Qinghai-Tibet Plateau. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 189, p. 11 – 18, 2014.

CHEN, L.; QIAN, X.; SHI, Y. Critical Area Identification of Potential Soil Loss in a Typical Watershed of the Three Gorges Reservoir Region. **Water Resources Management**, v. 25, n. 13, p. 3445 – 3463, 2011.

COCCO, J.; RIBEIRO, H. V.; GALVANIN, E. A. DOS S. Análise da transformação antrópica na Bacia Hidrográfica do Rio Diamantino - Mato Grosso, Brasil. In: **SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL**, 2014, Campo Grande. **Anais...** São Paulo: INPE, 2014. p. 26 – 36.

COCCO, J. ; RIBEIRO, H. V.; GALVANIN, E; A. DOS S.; NASCIMENTO, D. DE L.. Análise e Previsões das Ações Antrópicas para a Bacia do Rio do Sangue-Mato Grosso, Brasil. **Revista de Estudos Sociais**, v. 17, n. 34, p. 55 – 63, 2015.

COELHO NETTO, A. L. C. Evolução de Cabeceiras de Drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a Formação e o Crescimento da Rede de Canais sob Controle Estrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 4, 2003.

COHEN, J. A coefficient of agreement of nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, v.20, p. 37–46, 1960.

CONGALTON, R. G. A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 5, p. 593 – 600, 1988.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote sensing of environment**, v. 37, n. 1, p. 35-46, 1991.

CONTINI, E.; GASQUES, J. G.; LEONARDI, R. B. D. A.; BASTOS, E. T. Projeções do agronegócio no Brasil e no mundo. **Revista de Política Agrícola**, v.15, n. 1, p. 45-56, 2006.

CORDEIRO, L. A. M., VILELA, L., MARCHÃO, R. L., KLUTHCOUSKI, J.; JÚNIOR, G. B. M. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: Estratégias para intensificação sustentável uso do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 15-53, 2016.

COSTA, C. W. ; DUPAS, F. A.; CESPEDES, J. G.; SILVA, L. F. Monitoramento da expansão urbana, cenários futuros de crescimento populacional e o consumo de recursos hídricos no município de São Carlos, SP. **Geociências**, v. 32, n. 1, p. 63–80, 2013.

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. **GEOBANK - Arquivo vetorial geologia**. 2010.

CRUZ, C. B. M.; TEIXEIRA, A. J. DE A.; DE BARROS, R. S.; ARGENTO, M. S. F.; MAYR, L. M.; DE MENEZES, P. M. L. Carga antrópica da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 9., 1998, Santos, SP. **Anais...**Santos: INPE, 1998. p. 11 – 18.

CUNHA, R. C.; DUPAS, F. A.; PONS, N. A. D.; TUNDISI, J. G. Análise da influência das variáveis ambientais utilizando Inferência Fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades. Estudo do caso da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos – SP. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 399414, 2011.

CUNNINGHAM, S. C.; NALLY, R. M.; BAKER, P. J.; CAVAGNARO, T. R.; BARINGER, J.; THOMSON, J. R.; THOMPSON, R. M. Balancing the environmental benefits of reforestation in agricultural regions. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 17, n. 4, p. 301-317, 2015.

DA SILVA, C. R. **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**. Brasília: CPRM, 2008.

DA SILVA, H. J. **Estudo da relação entre a perda de solo e mananciais e áreas protegidas da Serra da Mantiqueira**. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia — Universidade Federal de Itajubá, 2016.

DE OLIVEIRA, M. A.; ALVES, H. P. DA F. Crescimento populacional e mudanças no uso e cobertura do solo nas áreas de proteção aos mananciais da Região Metropolitana de São Paulo: uma análise a partir da aplicação de metodologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento. In: **ANPPAS-ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE**, 3., 2006, Brasília. **Anais...** Campinas: Associação Nacional de Pesquisa em Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade, 2006. p. 1-20.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL INFRAESTRURA DE TRANSPORTES. **Malha Viária**. 2015. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/shapefiles>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

DRAGAN, M.; FEOLI, E. ; FERNETTI, M.; ZERIHUN, W. Application of a spatial decision support system (SDSS) to reduce soil erosion in northern Ethiopia. **Environmental Modelling & Software**, Kidlington, v. 18, n. 10, p. 861-868, 2003.

DRUMMOND, I. N. **Classificação imprecisa de dados baseada em lógica difusa e teoria de possibilidades**. Tese de doutorado em Computação Aplicada - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, Brasil, 2007.

DUPAS, F. A. **Crescimento urbano e suas implicações ambientais: redirecionamento de cidades de médio porte utilizando as variáveis ambientais, sensoriamento remoto e SIG - Estudo do caso de São Carlos, SP**. Relatório final de pesquisa de Pós-doutorado FAPESP, Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil, Engenharia Urbana, 2001.

EASTMAN, J. R. **Decision support: decision strategy analysis**. 2 ed. Worcester, 2001.

ECKERT, S.; HUSLER, F.; LINIGER, H.; HODEL, E. Trend analysis of MODIS NDVI time series for detecting land degradation and regeneration in Mongolia. **Journal of Arid Environments**, v. 113, p. 16 – 28, 2015.

ELMQVIST, T. ZIPPERER, W.; GÜNERALP, B. **Urbanization, habitat loss, biodiversity decline: solution pathways to break the cycle**. The routledge handbook of urbanization and global environmental change, London and New York: Routledge, 2013.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, Florianópolis: UFSC, v.3, p. 877-1436, 2003.

ERDAS. **ERDAS field guide**. ERDAS software. Georgia. USA, 2008.

ERNST, C. Protecting the Source: Land Conservation and the Future of America's Drinking Water, **Trust for Public Land**. Washington: [s.i.], 2004.

ESRI. **Arcgis** versão 10.0. Software SIG. 1 CD-ROM. 2010.

FERNANDES, J. DE F.; SOUZA, A.; TANAKA, M. Can the structure of a riparian forest remanescent influence stream water quality? A tropical case study. **Hydrobiologia**, n. 724, p. 175 – 185, fev., 2014.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Identificação de áreas para a recomposição mata nativa com base em princípios de Ecologia da Paisagem. **Revista Arvore**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 575-583, 2003.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FOODY, G. M. The continuum of classification fuzziness in thematic mapping. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 65, p. 443-452, 1999.

FORMAN, R. T. T.; DEBLINGER, R. D. The ecological road-effect zone of a Massachusetts (USA) suburban highway. **Conservation biology**, v. 14, n. 1, p. 36-46, 2000.

FRANCISCO, C. E. DA S. **Áreas de Preservação Permanente na bacia do ribeirão das Anhumas: estabelecimento de prioridades para recuperação por meio de análise multicriterial**. Dissertação de mestrado - Instituto Agrônômico, Campinas, São Paulo, 2006.

FRANCO, A. L. C.; BARTZ, M. L. C.; CHERUBIN, M. R.; BARETTA, D.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; WALL, D. H.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Loss of soil (macro) fauna due to the expansion of Brazilian sugarcane acreage. **Science of The Total Environment**, v. 563, p. 160-168, 2016.

FREITAS-JUNIOR, G.; MARSON, A. A.; SOLERA, D. A. G. Os Eucaliptos No Vale Do Paraíba Paulista: Aspectos Geográficos e Históricos. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 4, p. 221-237, 2016.

FU, B.; BURGHER, I. Riparian vegetation NDVI dynamics and its relationship with climate, surface water and groundwater. **Journal of Arid Environment**, v. 113, p. 59 – 68, 2015.

Fundação SOS Mata Atlântica. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica no período de 2014 a 2015**. Disponível em: < <https://www.sosma.org.br/projeto/atlas-da-mata-atlantica/dados-mais-recentes/> > Acesso em: 02 set. 2016.

GAO, J.; SKILLCORN, D. Capability of SPOT XS data in producing detailed land cover maps at the urban-rural periphery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 15, p. 2877-2891, 1998.

GARÓFALO, D. T.; FERREIRA, M. C. Mapeamento de fragilidade ambiental por meio de análise geoespacial: Uma aplicação na alta Bacia dos Rios Piracicaba e Sapucaí-Mirim, APA Fernão Dias, MG. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 29, p. 212 – 245, 2015.

GELDMANN, J.; BARNES, M.; COAD, L.; CRAIGIE, I. D.; HOCKINGS, M.; BURGESS, N. D. Effectiveness of terrestrial protected areas in reducing habitat loss and population declines. **Biological Conservation**, v. 161, p. 230-238, 2013.

GEO AMBIENTE. **Estado dos Solos**. In: O estado do meio ambiente no Brasil. [S.l.: s.i.], 2002.

GOOGLE. **Imagens de satélite de alta resolução**. Google Earth. Versão 7.1.5.1557. 2016.

GOUVEIA, R. G. L.; GALVANIN, E. A. S.; NEVES, S. M. A. S. Aplicação do índice de Transformação Antrópica, na análise multitemporal da Bacia do Córrego do Bezerro Vermelho em Tangará da Serra – MT. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, p. 1045 – 1054, 2013.

GUADAGNIN, J.C.; BERTOL, I.; CASSOL, P.C.; DO AMARAL, A.J. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.277-286, 2005. DOI: 10.1590/S0100-06832005000200013

GUIDOLINI, J. F.; PEDROSO, L. B.; ARAÚJO, M. V. N. Análise temporal do uso e ocupação do solo na microbacia do Ribeirão do Feijão, município de São Carlos - SP, entre os anos de 2005 e 2011. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR**, 16. **Anais...**Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, p. 4503–4509, 2013.

HARRISON, I. J.; GREEN, P. A.; FARREL, T. A.; JUFFE-BIGNOLI, D.; SÁENZ, L.; VOROSMARTY, C. J. Protected areas and freshwater provisioning: a global assessment of freshwater provision, threats and management strategies to support human water security. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 26, n. S1, p. 103-120, 2016.

HAYWARD, M. W.; HAYWARD, G.J.; KERLEY, G. I. H. The impact of upgrading roads on the conservation of the threatened flightless dung beetle, *Circellumbacchus* (Coleoptera: Scarabaeidae). **Coleopterists Bulletin**, v. 64, n. 1, p. 75-80, 2010.

HERRMANN, G. **Manejo de paisagem em grande escala: estudo de caso no Corredor Ecológico da Mantiqueira, MG**. Tese de doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas, Belo Horizonte, 2008.

HORN, H. M. F. **Identificação de prováveis áreas para conservação ambiental ao longo da Rodovia Fernão Dias aplicando técnicas de geoprocessamento**. Dissertação de especialização em Geoprocessamento - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Departamento de Cartografia, 2001.

IBAMA. INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS RENOVÁVEIS. **Relatório de atividades da APA da Serra da Mantiqueira**. [S.l.], 2005.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFICA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 1985 a 2015**, 2016.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFICA E ESTATÍSTICA. **Bases e referências cartográficas**. 2010.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFICA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário**, 2016.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFICA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Terceira. Rio de Janeiro, 2013.

ICMBIO. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Arquivo Vetorial. **Limites das Unidades de Conservação**. 2016. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/servicos/geoprocessamento/51-menu-servicos/4004-mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-ucs.html>>. Acesso em: 04 abr. de 2015.

IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Relatório de monitoramento das águas superficiais**. 2015. Resumo executivo. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br>>. Acesso em: 15 set. 2016.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Manuais Spring – Tutoriais de Geoprocessamento – Classificação de imagens**. 2016. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>>. Acesso em: 02 jan. de 2016

IRVEM A.; TOPALOGLU F.; UYGU, V. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. **Journal of Hydrology**, v.336, n.1, p.30–37, 2007.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LEÃO, C.; KRUG, L. A.; KAMPEL, M.; FONSECA, L. M. G. Avaliação de métodos de classificação em imagens TM/Landsat e CCD/CBERS para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 13., Florianópolis, 2007. p. 939-946.

LÉMECHEV, T. On hydrological heterogeneity catchment morphology and catchment response. **Journal of Hydrology**, 1982, v. 100, p. 375 – 375, 1982.

LILLESAND, T; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons, 2014.

LIMA, G. C. **Variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos e índice de qualidade dos solos da sub-bacia das Posses, Extrema/MG, sob diferentes agroecossistemas**. Tese de doutorado em Ciência do Solo - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; DE OLIVEIRA, CURI, N.; DA SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e Mata atlântica na escala de micro bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 517 – 526, 2014.

LIMA, S. S. J.; SOUZA, G. S.; SILVA, S. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. **Revista Árvore**, v. 34, p. 127 – 136, 2010.

LIMA, W. P. **Hidrologia mata nativa aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: USALQ/USP, 2008. p. 245.

MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in Planning**, New York, n. 62, p. 3-65, 2004.

MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. DE; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2002. p.174 .

MARENCO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, 2007.

MARTINUZZI, S.; RADELOFFA, V. C.; JOPPAB, L. N.; HAMILTONA, C. M.; HELMERSA, D. P.; PLANTINGAC A. J.; LEWIS, D. J. Scenarios of future land use change around United States’ protected areas. **Biological Conservation**, v. 184, p. 446-455, 2015.

MATEO, J. **Apuntes de Geografía de Los Paisajes**. La Habana: Universitaria, 1984.

MATHER, P. M. Land cover classification revisited. **Advances in remote sensing and GIS analysis**, p. 7-16, 1999.

MCDONALD, R. I.; FORMAN, R. T.; KAREIVA, P.; NEUGARTEN, R.; SALZER, D.; FISHER, J. Urban effects, distance, and protected areas in an urbanizing world. **Landscape and Urban Planning**, v. 93, n. 1, p. 63-75, 2009.

MCDONALD, R. I.; KAREIVA, P.; FORMAN, R. T. The implications of current and future urbanization for global protected areas and biodiversity conservation. **Biological conservation**, v. 141, n. 6, p. 1695-1703, 2008.

MEA. MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis**. Washington: Island Press, 2005. Disponível em <<http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>> Acesso em: 13 mar. 2016.

MELLO, J. M.; DE BRITO, A.; DE CARVALHO, L. M. T.; JUNIOR, F. W. A.; DE OLIVEIRA SILVEIRA, E. M Validação do Mapeamento da Flora Nativa e dos Reflorestamentos de Minas Gerais. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 14... Natal, Brasil, 25 - 30 abril, p. 2831- 2838, 2009

MICROSOFT Office. **Conjunto de programas**. 1 CD-ROM. 2010.

MIRANDA, E. E. **Embrapa Monitoramento por Satélite - Brasil em Relevo**. Campinas: [s.n.], 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

MMA/IBAMA. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Estadual Fernão Dias**. 2008.

MOHAMMAD, F. S.; ADAMOWSKI, J. Interfacing the geographic information system, remote sensing, and the soil conservation service–curve number method to estimate curve number and runoff volume in the Asir region of Saudi Arabia. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 8, n. 12, p. 11093 – 11105, 2015.

MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. INPE, cap. 1, p. 1 – 22, 2002.

MORAWITZ, D. F.; BLEWETT, T. M.; COHEN, A.; ALBERTI, M. Using NDVI to assess vegetative land cover change in Central Puget Sound. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 1, n. 3, p. 85 – 106, 2006.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Segunda. Viçosa: UFV, Terceira. 2005.

NOGUEIRA, C. R.; CRUZ, C. B. M.; AGAREZ, F. V.; VICENS, R. S. Classificação de bacias hidrográficas em tabuleiros costeiros através de indicadores provenientes de sensoriamento remoto – estudo de caso em Linhares e Sooretama. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 2001. p. 955 – 958.

NOSSACK, F. A.; SARTORI, A. A. DA. C.; DA SILVA, R. F. B.; MORAES, D. DE C. A.; ZIMBACK, C. R. L. Definição de áreas prioritárias para a recuperação mata nativa visando conectividade entre fragmentos: Análise Multicriterial. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**. 15.. Curitiba, 2011. p. 4062 – 4069

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto – princípios e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.

NOVO, E. M. L. M; PONZONI, F.J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, SP: INPE, 2001.

OLDEMAN, L. R. **Global extent of soil degradation**. [S.l.], 1992.

OMUTO, C. T.; BALINT, Z.; ALIM, M. S. A framework from national assessment of land degradation in the drylands: A case study of Somalia. **Land Degradation & Development**, v. 119, out., 2011.

PAN, Y., R. A. BIRDSEY, J. FANG, R. HOUGHTON, P. E. KAUPPI, W. A. KURZ, O. L. PHILLIPS, A. SHVIDENKO, S. L. LEWIS, J. G. CANADELL, P. CIAIS, R. B. JACKSON, S. W. PACALA, A. D. MCGUIRE, S. PIAO, A. RAUTIAINEN, S. SITCH & D. HAYES, A large and persistent carbon sink in the world's forests. **Science**, v. 333, p. 988-993, 2011.

PANIZZA, A. D. C.; FONSECA, F. P. **Técnicas de Interpretação Visual de Imagens**. p. 30 – 43, 2011.

Agência PCJ. **Informações das bacias**. Disponível em: <<http://www.agenciapcj.org.br/>> Acesso em: 11 jul. 2016.

PEREIRA, P. H.; CORTEZ, B.; TRINDADE, T.; MAZOCHI, M. N. **Conservador das Águas: 5 Anos**. Extrema: Departamento de Meio Ambiente. 2010. Disponível em: <<http://www.extrema.mg.gov.br/conservadordasaguas/Livro-Conservador-20101.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2016

PÉREZ-ORTEGA, D. J. **Avaliação dos efeitos das atividades antrópicas na bacia hidrográfica do Córrego do Ipê, município de Ilha Solteira- SP**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil — Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo, 2011.

PEROVIĆ, V.; ŽIVOTIĆ, L.; KADOVIĆ, R.; ĐORĐEVIĆ, A.; JARAMAZ, D.; MRVIĆ, V.; TODOROVIĆ, M. Spatial modelling of soil erosion potential in a mountainous watershed of South-eastern Serbia. **Environmental Earth Sciences**, v. 68, n. 1, p. 115 – 128, 2013.

PERRY, C. R.; LAUTENSCHLAGER, L. F. Functional equivalence of spectral vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 14, n. 1-13, p. 169 – 182, 1984.

PIMENTEL, D. DE S. **Os “parques de papel” e o papel social dos parques**. Tese de doutorado em Recursos Florestais – Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Piracicaba: USP, 2008. 251 p.

PINTO, S. A. F. **Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica**. Tese de doutorado — Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

PINTO, C. P. **Petrologia De Rochas Alcalinas, Cálcio-Alcalinas e Toleíticas Da Serra Da Mantiqueira Em Minas Gerais-Brasil**. Dissertação de mestrado em Geodinâmica e Evolução Crustal - Instituto de Geociências, 1995.

PINTO, D. B. F.; SILVA, A. M. DA.; MELLO, R. DE; COELHO, G. Qualidade da água do Ribeirão Lavrinha na região Alto Rio Grande - MG, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.4, p. 1145-1152, 2009.

PONZONI, F. J.; ALMEIDA, E. S. A estimativa do parâmetro kappa (K) da análise multivariada discreta no contexto de um SIG. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 8..1996. p. 52-58.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 3 ed. [S.l.]: Oficina de Textos, 2012.

POPRADIT, A.; SRISATIT, T.; KIRATIPRAYOON, S.; YOSHIMURA, J.; ISHIDA, A.; SHIYOMI, M.; PHROMMA, I. Anthropogenic effects on a tropical forest according to the distance from human settlements. **Scientific reports**, v. 5, 2015.

POSTEL, S. L.; THOMPSON, B. H. Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. **Natural Resources Forum**, Oxford, v. 29, p. 98 – 108, 2005.

PRADO, R. B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP**, como suporte à gestão de recursos hídricos. Tese de doutorado em Engenharia Ambiental - Universidade de São Paulo, 2004.

Projeto Radam Brasil. **Arquivo vetorial Pedologia**. 1983.

RAGETTLI, S.; PELLICCIOTTI, F.; IMMERZEEL, W. W.; MILES, E. S.; PETERSEN, L.; HEYNEN, M.; SHEA, D. S.; JOSHI, S.; SHRESTHA, A. Unraveling the hydrology of a Himalayan catchment through integration of high resolution in situ data and remote sensing with an advanced simulation model. **Advances in Water Resources**, v. 78, n. 94, 2015.

RASIAH, V; FLORENTINE, S.; DAHLHAUS, P. Environmental benefits inferred from impact of reforestation of deforested creek bank on soil conditioning: a case study in Victoria, Australia. **Agroforestry Systems**, v. 89, n. 2, p. 345-355, 2015.

REEVES, M. C.; BAGGETT, L. S. A remote sensing protocol for identifying rangelands with degraded productive capacity. **Ecological Indicators**, v. 43, p. 172 – 182, fev., 2014.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1999, 439p.

RILEY, S. J. Effect of clearing and roading operations on the permeability of forest soils, Karuah catchment, New South Wales, Australia. **Forest Ecology and Management**, n. 9, p. 238-293, 1984.

RISSO, A.; FILHO, C. R. S.; COSTA, F. H. S. Análise Temporal de NDVI e mapas potenciais naturais de erosão na região do Vale do Ribeira, São Paulo. In: **SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO**. 18.. Florianópolis, 2007. p. 3833 – 3839.

ROCHA, S. P.; CRUZ, C. B. M. Aplicação do ITA na análise espaço-temporal do entorno da BR-101 nos municípios de Angra dos Reis e Parati. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**. Natal, 2009. p. 1505 – 1512.

RODRIGUES, G. O. **Análise da acurácia temática de classificações de imagens orbitais AVNIR-2/ALOS, CCD/CBERS- 2 E TM/LANDSAT-5, comparando as abordagens de Máxima Verossimilhança e Fuzzy**. Dissertação de mestrado em Engenharia de Energia, Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá, 2009.

RODRIGUES, L. DA C.; PESSOA, S. P. M.; NEVES, R. J.; NEVES, S. M. A. DA S.; DA SILVA, J. DOS S. V.; KREITLOW, J. P. Análise multitemporal e índice de transformação antrópica da bacia do rio Queima-Pé - Tangará da Serra / MT, Brasil. In: **SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS DO PANTANAL**. EMBRAPA/INPE. Bonito, 2012. p. 838 – 848.

RONQUIM, C. C.; DA SILVA, R. F.; DE FIGUEIREDO, E. B.; BORDONAL, R. O.; TEIXEIRA, A. H. D. C.; COCHASRK, T. C.; LEIVAS, J. F. Carbon sequestration associated to the land-use and land-cover changes in the forestry sector in Southern Brazil. In: **REMOTE SENSING FOR AGRICULTURE, ECOSYSTEMS, AND HYDROLOGY XVIII**, 2016.

ROSA, F. S.; TONELLO, K. C.; LOURENÇO, R. W. Selection of priority areas for payment of environmental services: an analysis at the watershed level. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 2, p. 448, 2016.

ROUSE, J. W. Monitoring the vernal advancement And retrogradation (green wave effect) Of natural vegetation. **Texas A&M University Remote Sensing Center**, Texas, mar., 1973.

SAATY, L. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, San Diego, v. 15, p. 234 – 281, 1977.

SBCS. SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Perda de solo no Brasil**. 2016. Disponível em: <http://www.sbc.org.br/?post_type=noticia_geral&p=3810>. Acesso em: 20 mar. 2016.

SHIKLOMANOV, I. A. Comprehensive assessment of the Freshwater resources to the world. **Assessment water resources and water availability in the world**. WMO/SEI,85 p,1997.

SCHOONOVER, J. E.; LOCKABY, B. G.; PAN, S. Changes in chemical and physical properties of stream water across an urban-rural gradient in western Georgia. **Urban Ecosystems**, v. 8, p. 107-124, 2005.

SCHROEDER, T. A.; CANTY, M. J.; YANG, Z. Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon. **Remote Sensing of Environment**, n. 103, p. 16 – 26, 2006.

SEMA/SP. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade ambiental do Estado de São Paulo 2006**. São Paulo, 2006.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I. C. **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica e Agência Nacional de Águas. 41-88, 2001.

SEYEDBAGHERI, K. A. **Idaho forestry best management practices: compilation of research on their effectiveness**. DIANE Publishing, 1996.

SHIMABUKURO, Y. E.; MAEDA, E. E.; FORMAGGIO, A. R. Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados ao estudo dos recursos agrônômicos e florestais. **Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 4, p. 399 – 409, agosto, 2009.

SIANI, S. M. O. **ISAM - Um sistema de indicadores para o monitoramento da área de proteção ambiental mananciais do Rio Paraíba do Sul**. Dissertação de mestrado em Sensoriamento Remoto – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2016.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S.; PAIVA, K. W. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um argissolo vermelho-amarelo utilizando simulador de chuva. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 409 – 419, maio/ago., 2005.

SILVA, J. L.; TONELLO, K. C.; VALENTE, R. A.; MINGOTI, R. Diagnóstico ambiental como subsídio à restauração mata nativa e manutenção hidrológica da bacia do Ribeirão dos Pinheirinhos, Brotas-SP. **Irriga**, v. 21, n. 1, p. 1-13, 2016.

SMITS, P. C.; DELLEPIANE, S. G.; SCHOWENGERDT, R. A. Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: a review and a proposal for a cost based approach. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 8, p. 1461 – 1486, 1999.

SOARES-FILHO, B. Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, 344, p. 363-364, 2014.

SUN, F.; LYU, Y.; FU, B.; HU, J. Hydrological services by mountain ecosystems in Qilian Mountain of China: A review. **Chinese Geographical Science**, China, v. 26, n. 2, p. 174 - 187, 2016.

TANAKA, M. O.; DE FÁTIMA FERNANDES, J.; SUGA, C. M.; HANAI, F. Y.; DE SOUZA, A. L. T. Abrupt change of a stream ecosystem function along a sugarcane-forest transition: Integrating riparian and in-stream characteristics. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 207, p. 171 – 177, out., 2015.

TEIXEIRA, A. J. A.; CRUZ, C. B. M. Classificação de bacias de drenagem com o suporte do Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento – O caso da Baía de Guanabara. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**. 12.. Goiânia, 2005.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impactos da mudança da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 135 – 152, Janeiro-Junho, 1997

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. A. K. A. K. O.; CIMINELLI, V. S.; BARBOSA, F. A. Water availability, water quality water governance: the future ahead. **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 75 – 79.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Impactos potenciais das alterações do Código Mata nativa nos recursos hídricos. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 4, 2010.

USGS. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Imagens de satélite ortorretificada**. Disponível em: <http://Landsat.usgs.gov/L8_band_combos.php>. Acesso em: 24 fev. 2005.

VALENTE, R. DE O. A.. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação mata nativa por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG**. Tese de doutorado em Recursos Florestais - Universidade de São Paulo, 2005.

VALENTE, R.O.A.; VETTORAZZI, C.A. A abordagem multicriterial na definição de áreas prioritárias para conservação e preservação mata nativa. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 12..Goiânia, 2005.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 55 – 64, 2010.

VELOSO, H. P., RANGEL FILHO, A. L. R., LIMA, J. C. A.. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991.

VETORAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração mata nativa visando à conservação de recursos hídricos**. Tese de doutorado — Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2006.

VICENS, S. R. **O transporte de sedimentos em suspensão como parte da análise ambiental da bacia hidrográfica do rio Mazomba**. Dissertação de mestrado — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

VIJITH, H.; SUMA, M.; REKHA, V. B.; SHIJU, C.; REJITH, P. G. An assessment of soil erosion probability and erosion rate in a tropical mountainous watershed using remote sensing and GIS. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 5, p. 797 – 805, 2012.

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London: Pion, 1983. 370 p.

WATSON, J. E.; DUDLEY, N.; SEGAN, D. B.; HOCKINGS, M. The performance and potential of protected areas. **Nature**, v. 515, n. 7525, p. 67-73, 2014.

WISCHIMEIER, W. H.; SMITH, D. O. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to a conservation planning**. Washington: USDA, 1978.

XIE, Y. Remote sensing imagery in vegetation mapping: A review. **Journal of Plant Ecology**, v. 1, n. 1, p. 9 – 23, 2008.

YEGANEH, H.; JAMALE K. S.; AMIRI, F.; SHARIFF, A. R. B. M. Monitoring rangeland ground cover vegetation using multitemporal MODIS data. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 7, n. 1, p. 287 – 287, 2014.

ZHANG, B.; WU, P.; ZHAO, X.; WANG, Y.; GAO, X. Changes in vegetation condition in areas with different gradients (1980-2010) on the Loess Plateau, China. **Environmental Earth Sciences**, China, v. 68, n. 8, p. 2427 – 2438, 2013.

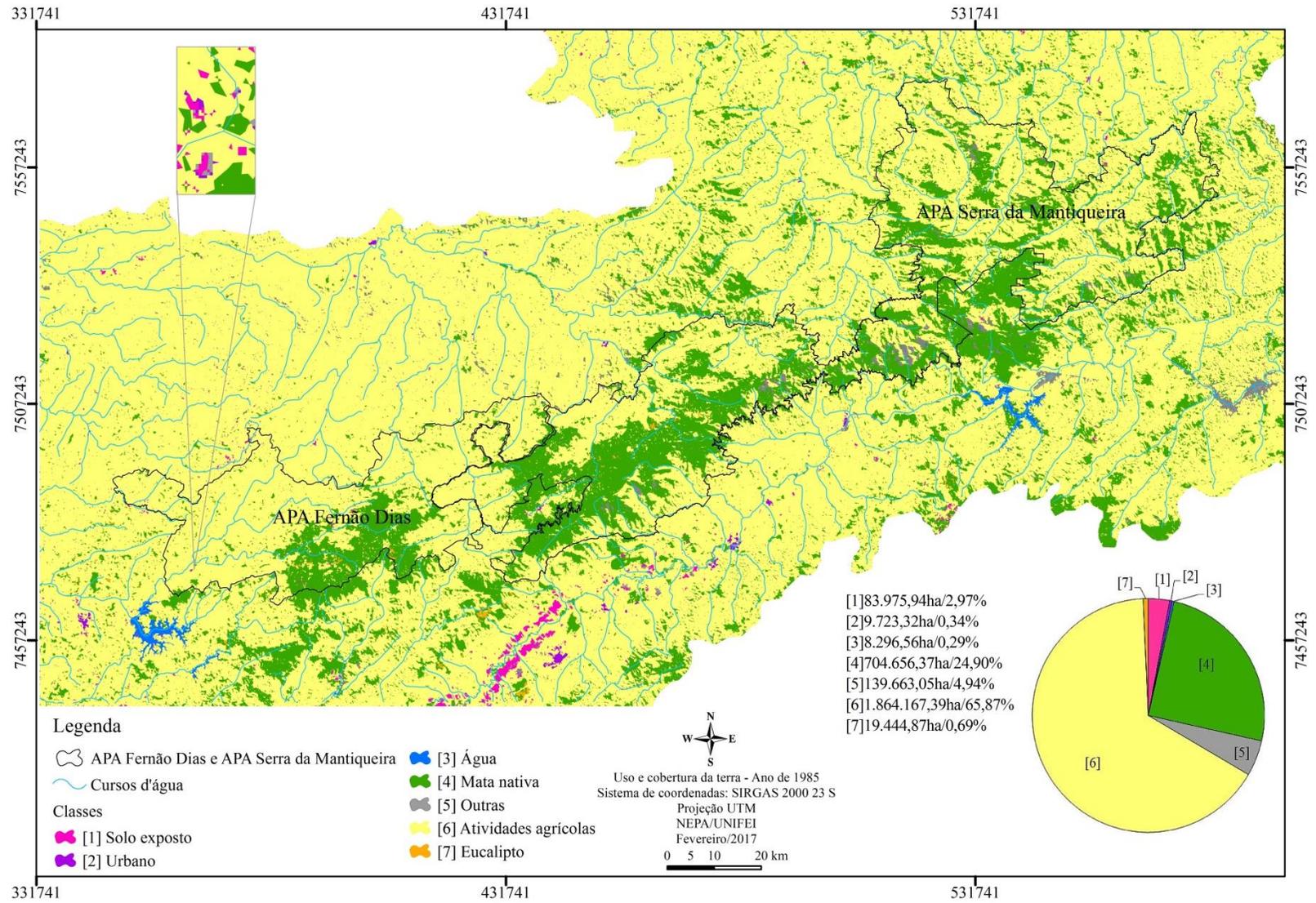
ZHANG, W. W.; YAO, L.; LI, H.; SUN, D. F.; ZHOU, L. D. Research on Land Use Change in Beijing Hanshiqiao Wetland Nature Reserve Using Remote Sensing and GIS. **Procedia Environmental Sciences**, v. 10, p. 583 – 588, 2011.

ZHANG, Y.; GAO, J.; LIU, L.; WANG, Z.; DING, M.; YANG, X. NDVI-based vegetation changes and their responses to climate change from 1982 to 2011: A case study in the Koshi River Basin in the middle Himalayas. **Global and Planetary Change**, v. 108, p. 139 – 148, 2013.

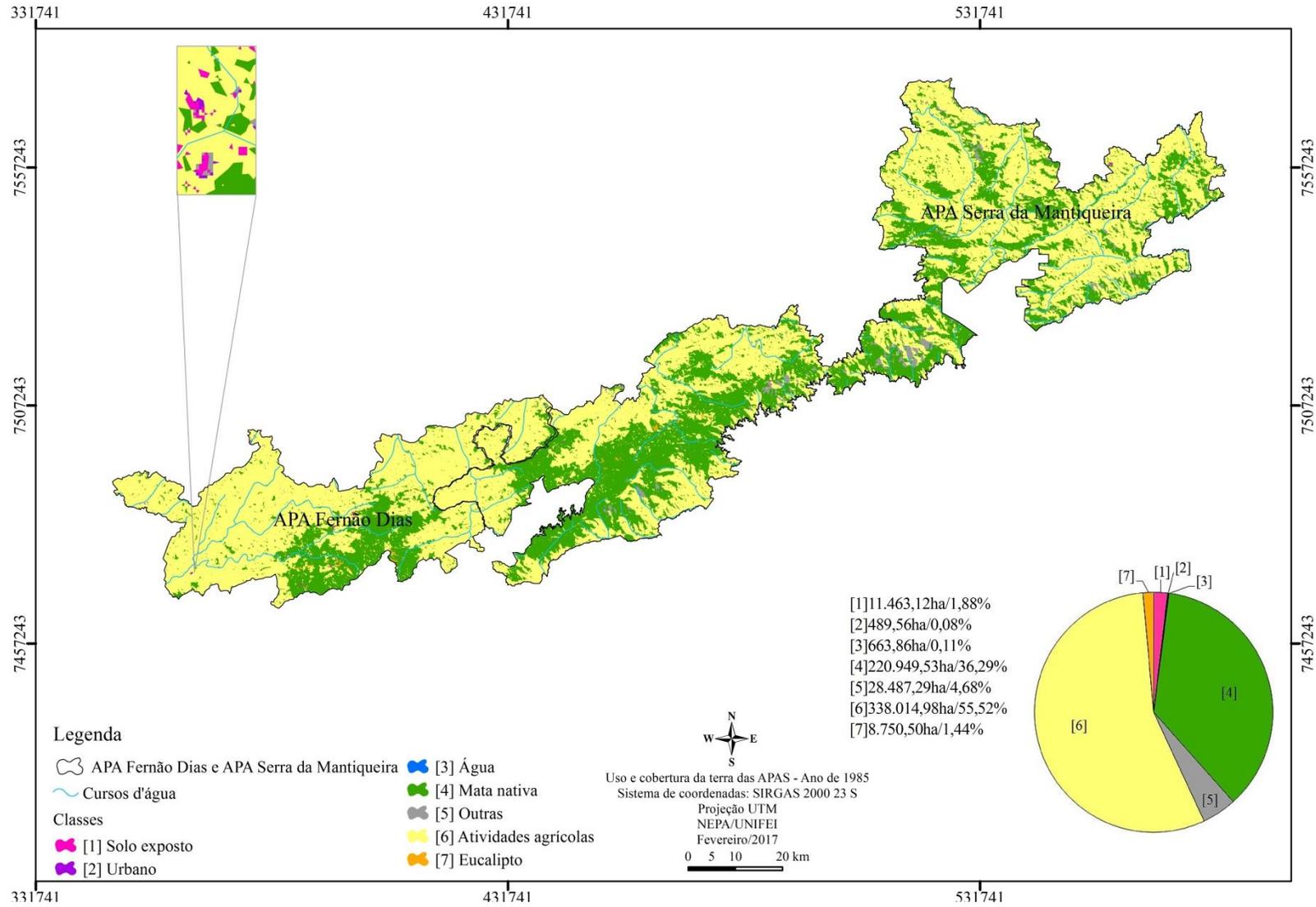
ZOCAL, J. C. **Caderno de estudos em conservação do solo e água**. Presidente Prudente: CODASP, n.1, v.1, 2007.

APÊNDICES

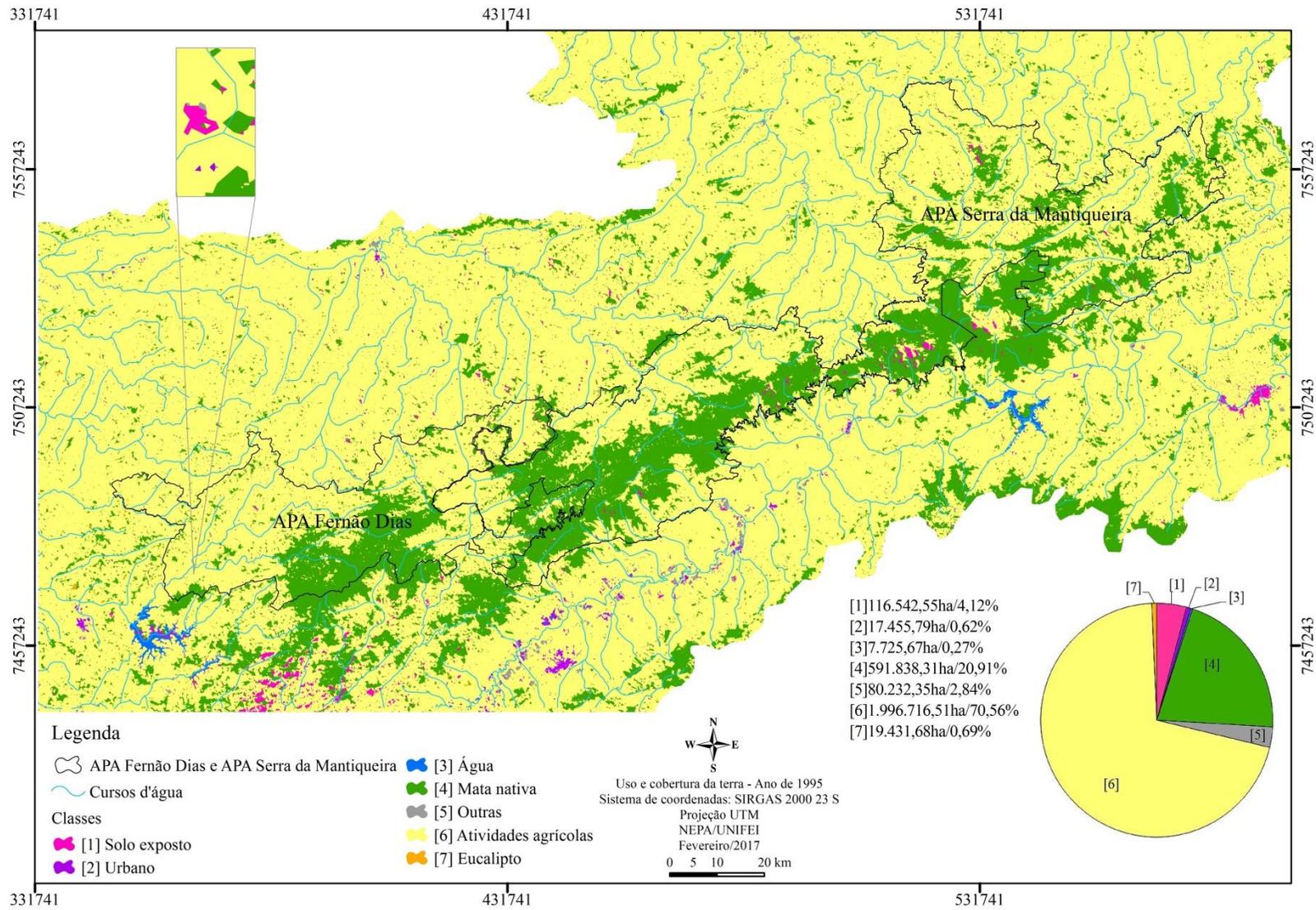
APÊNDICE II - Uso e cobertura da terra ano 1985, área total.



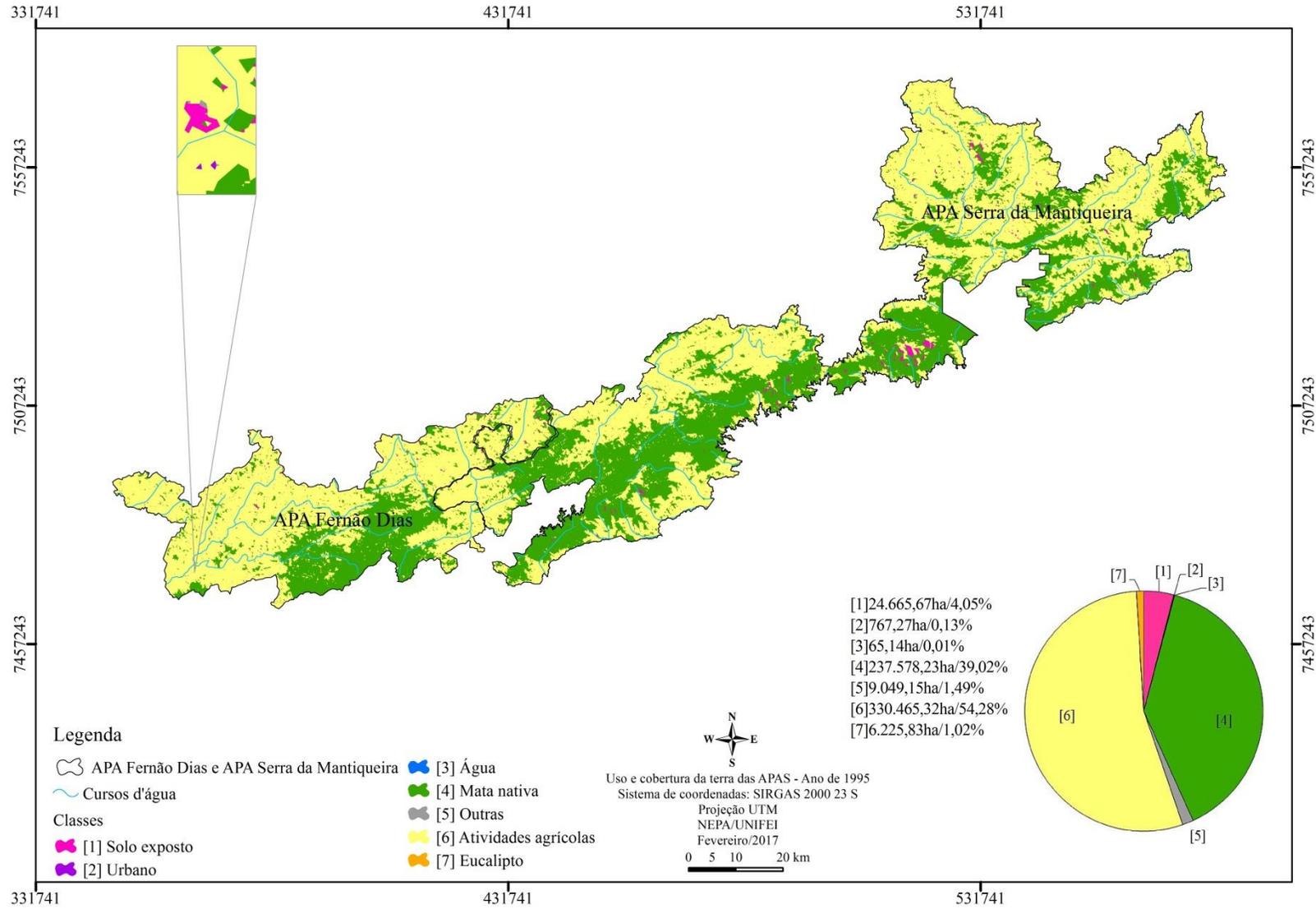
APÊNDICE III - Uso e cobertura ano de 1985, área das APAS.



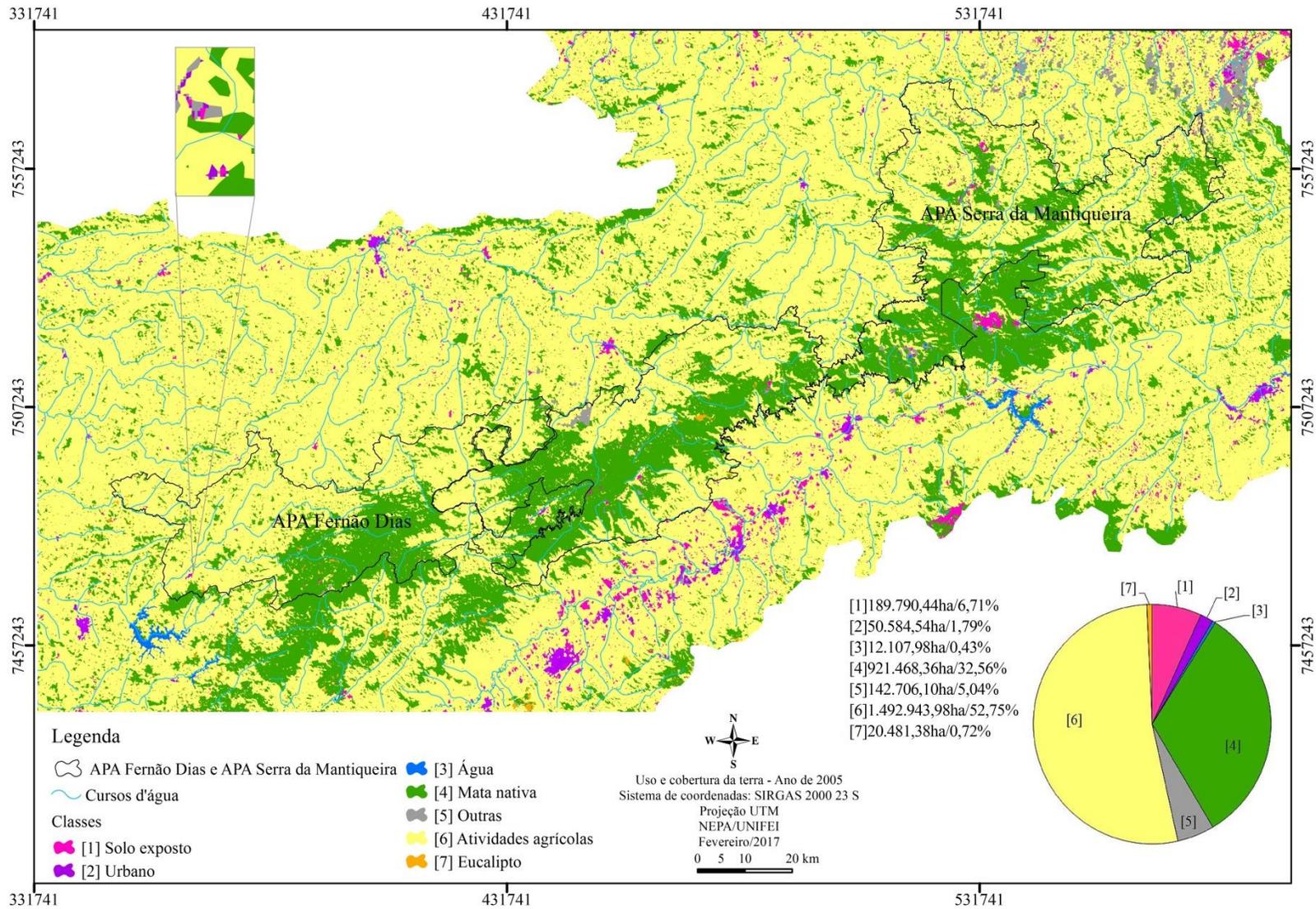
APÊNDICE IV - Uso e cobertura ano de 1995, áreas total.



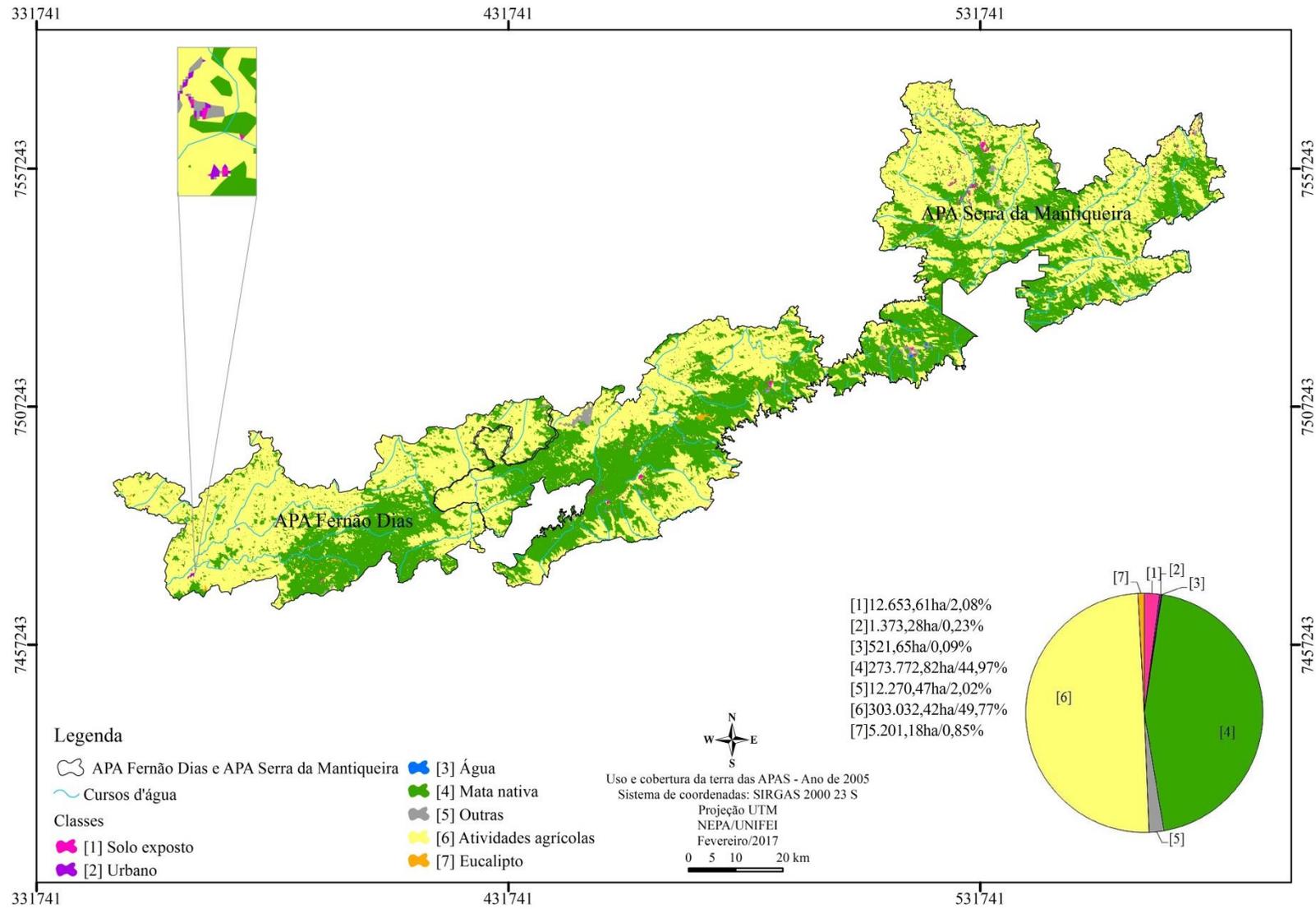
APÊNDICE V - Uso e cobertura ano de 1995, áreas das APAS.



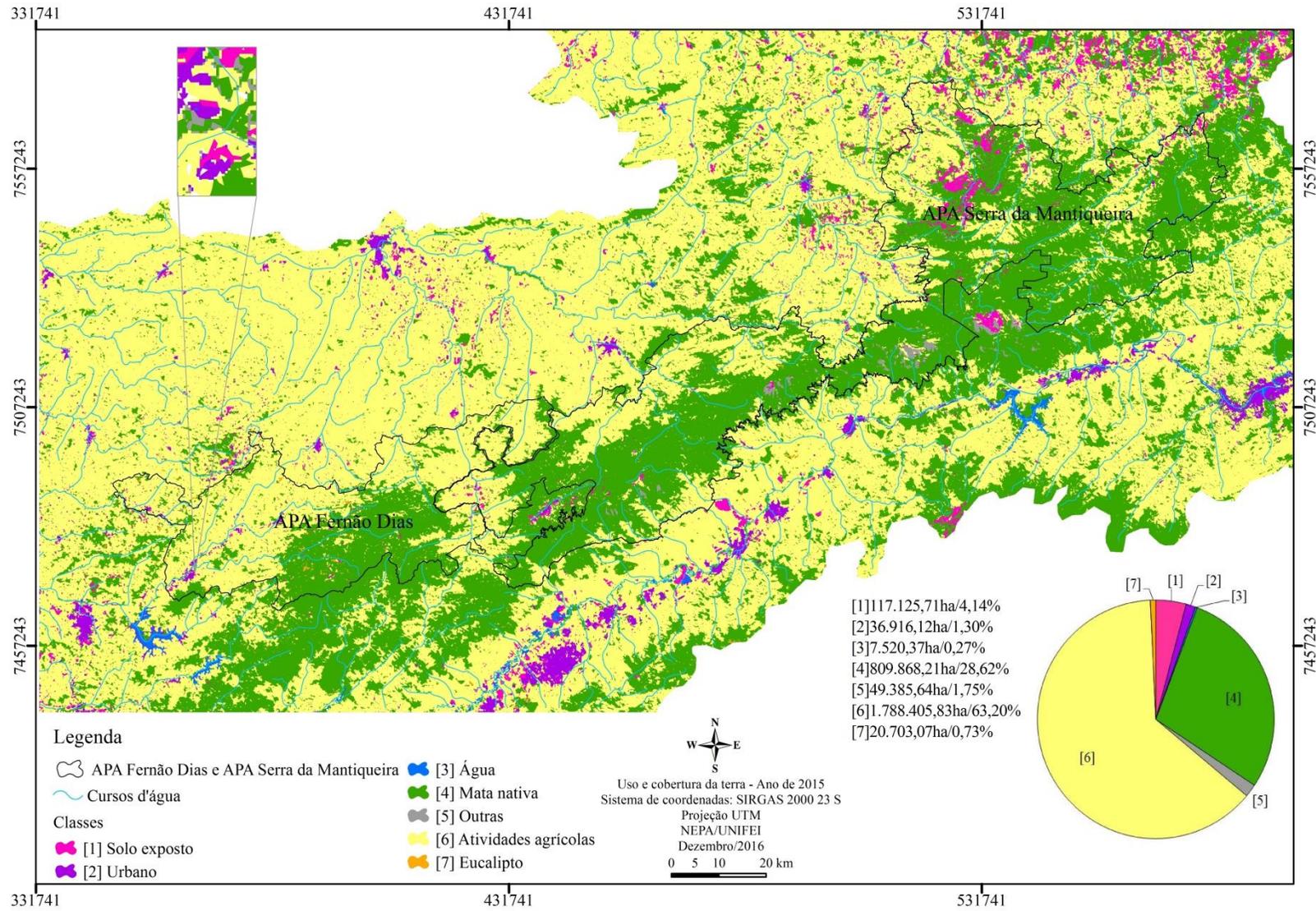
APÊNDICE VI - Uso e cobertura ano de 2005, área total



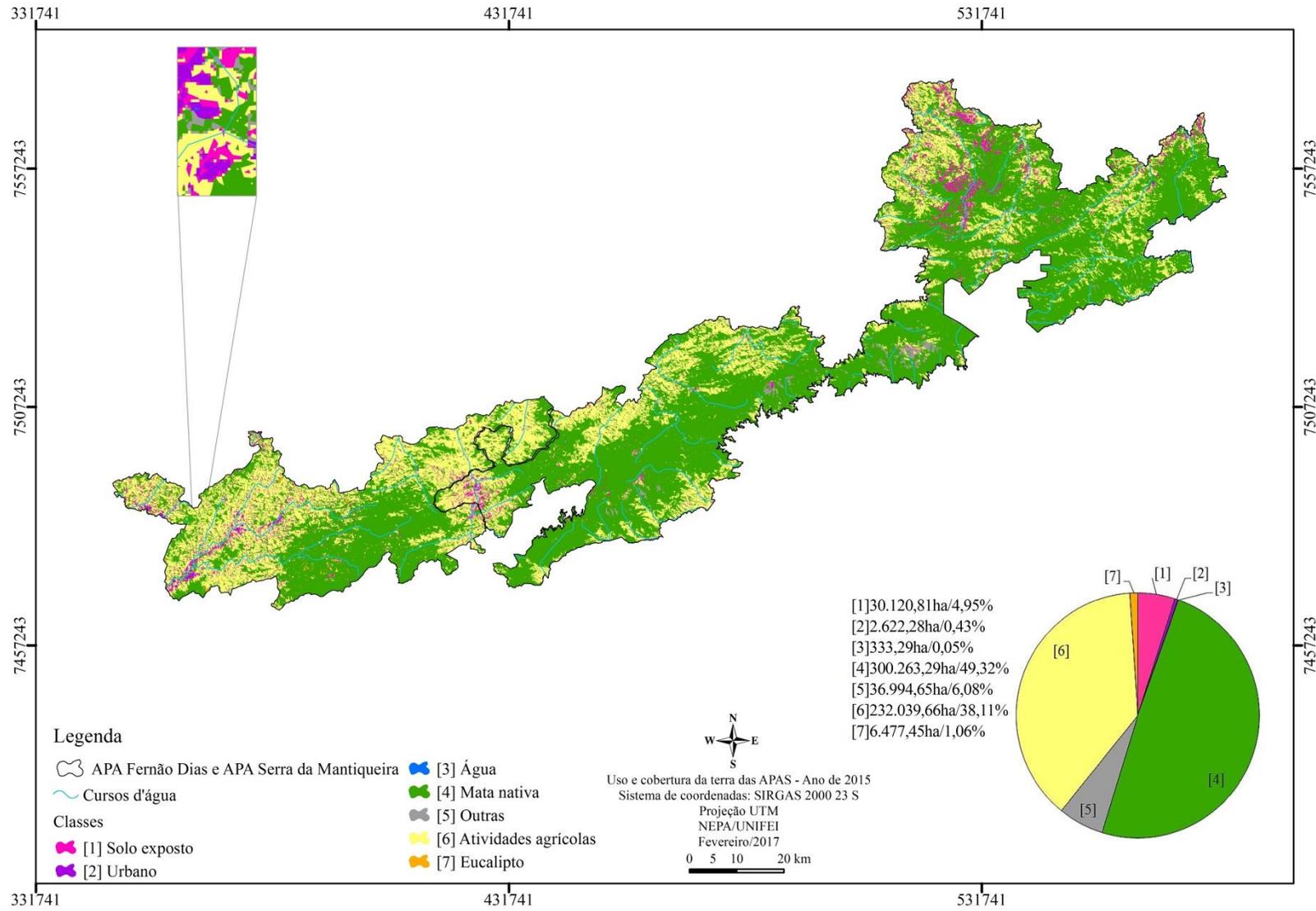
APÊNDICE VII - Uso e cobertura ano de 2005, área das APAS.



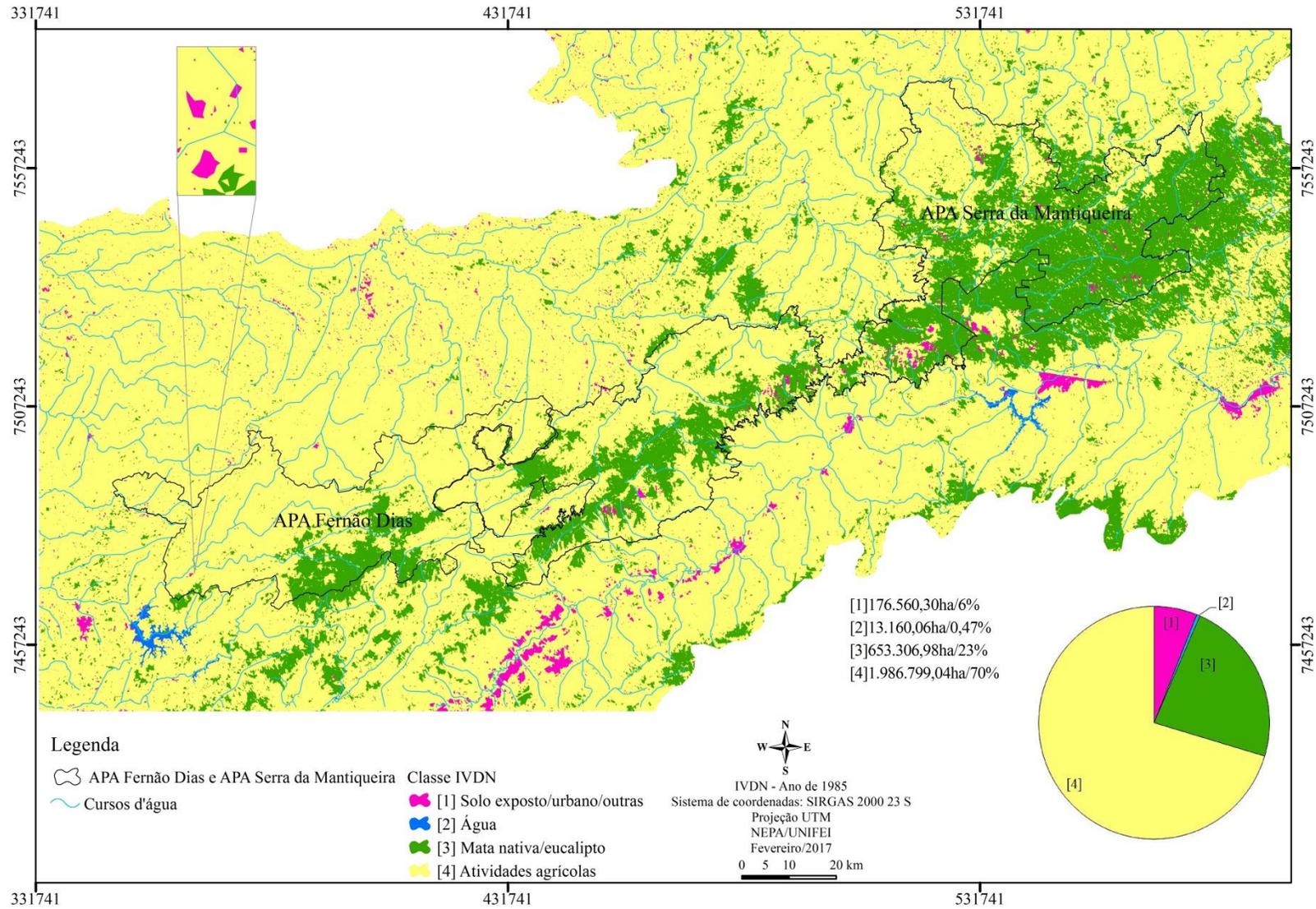
APÊNDICE VIII - Uso e cobertura da terra ano de 2015, área total.



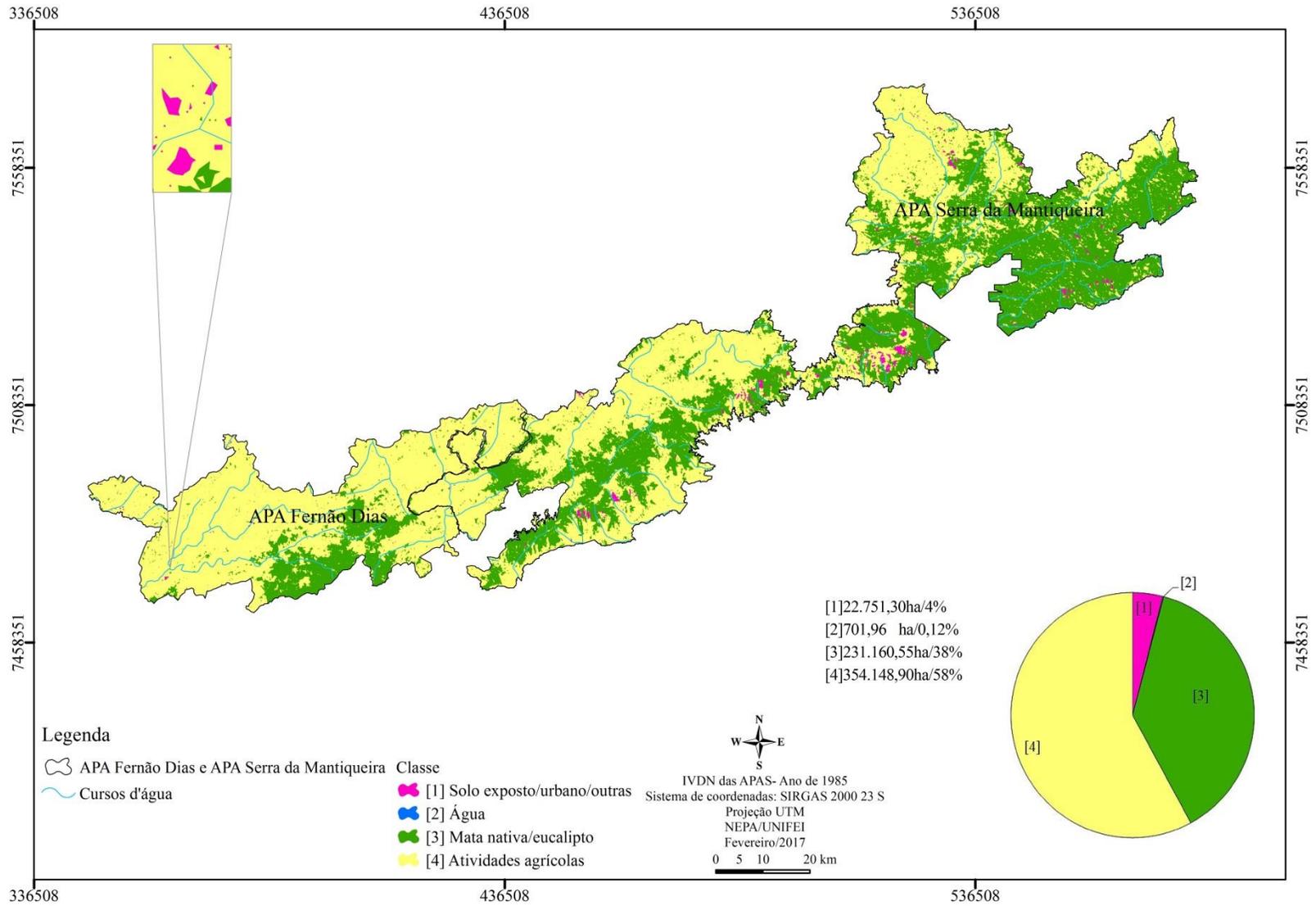
APÊNDICE IX - Uso e cobertura da terra ano de 2015, área das APAS.



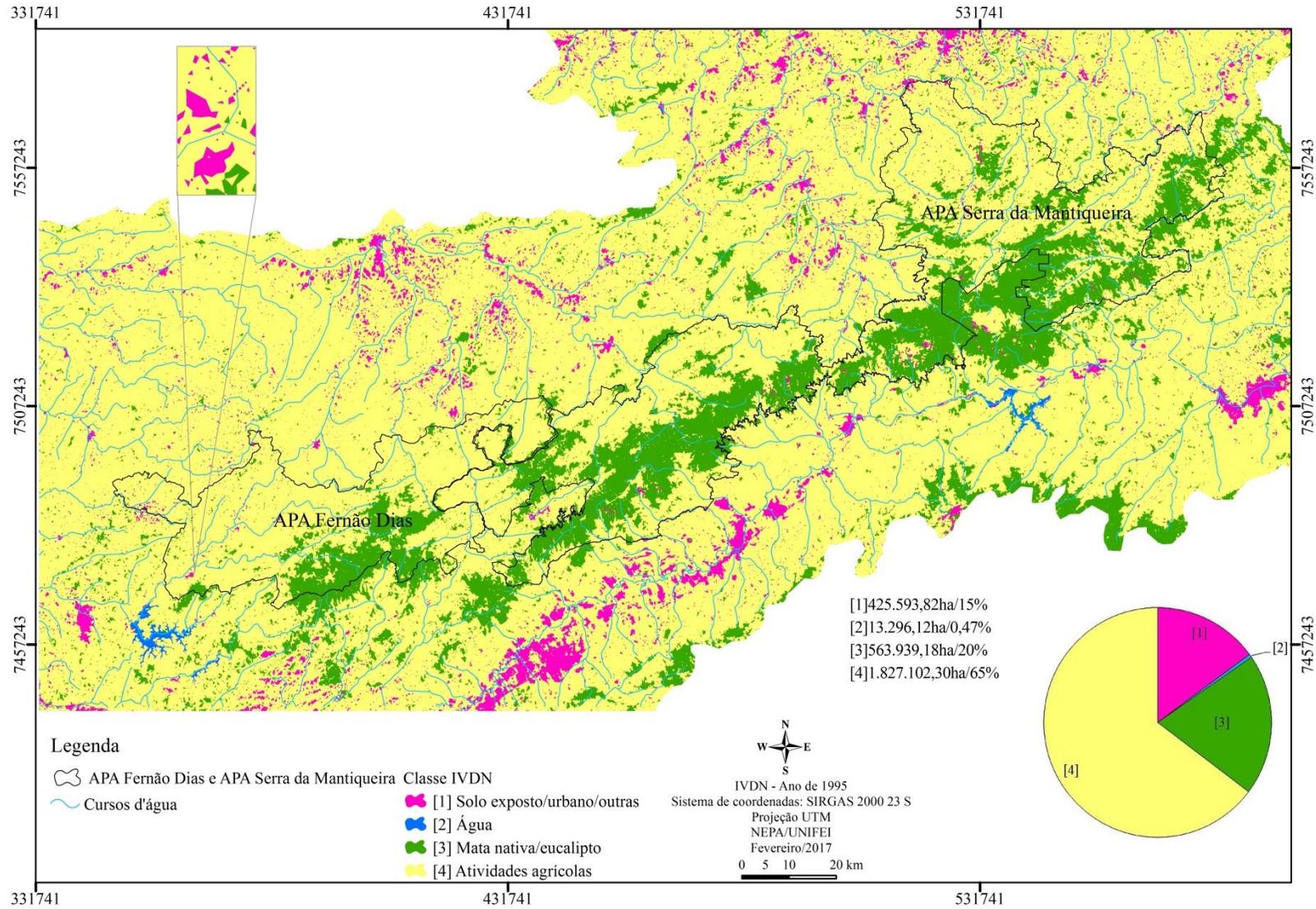
APÊNDICE X - Uso e cobertura da terra IVDN, ano de 1985.



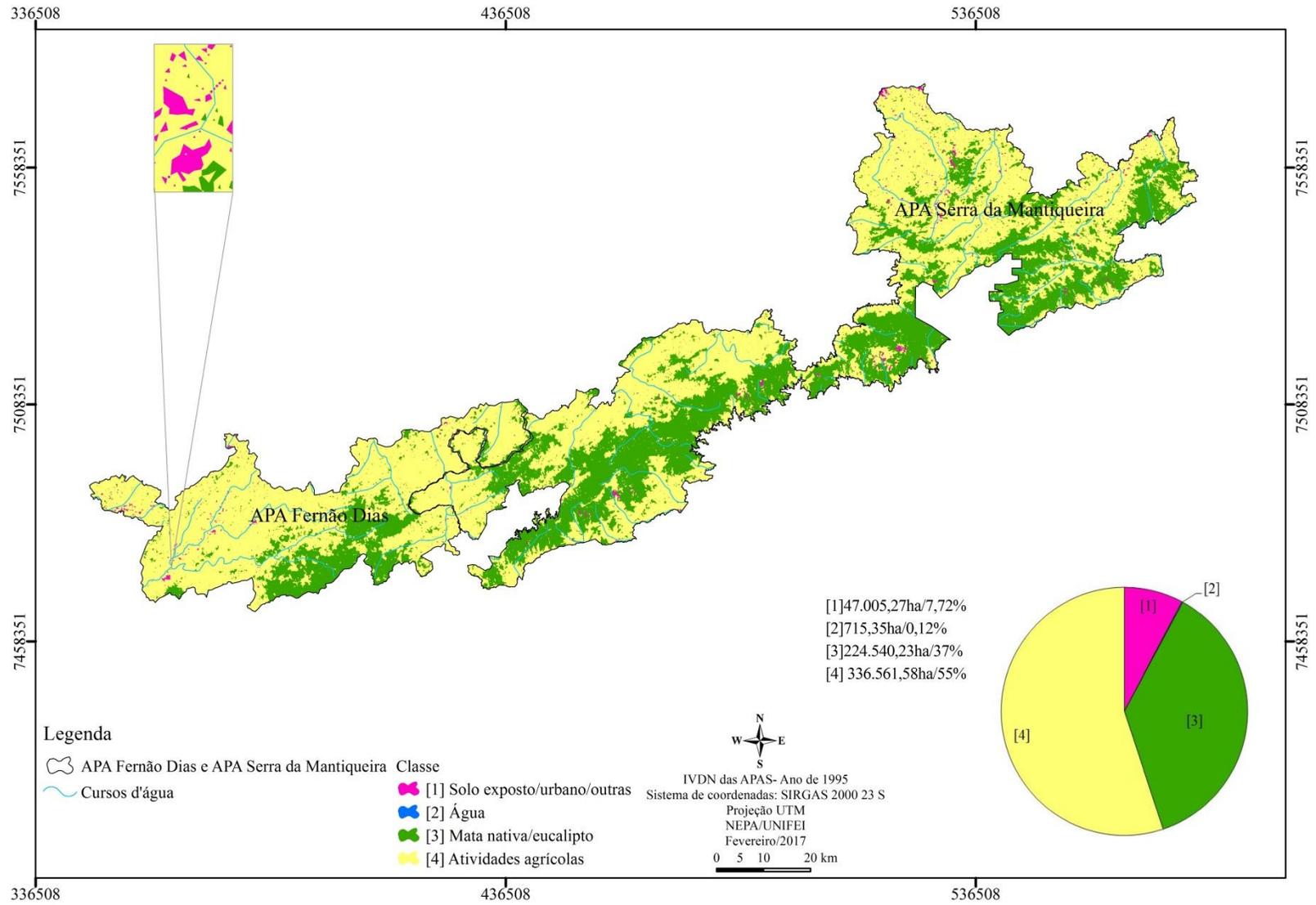
APÊNDICE XI - Uso e cobertura da terra IVDN ano 1985, área das APAS.



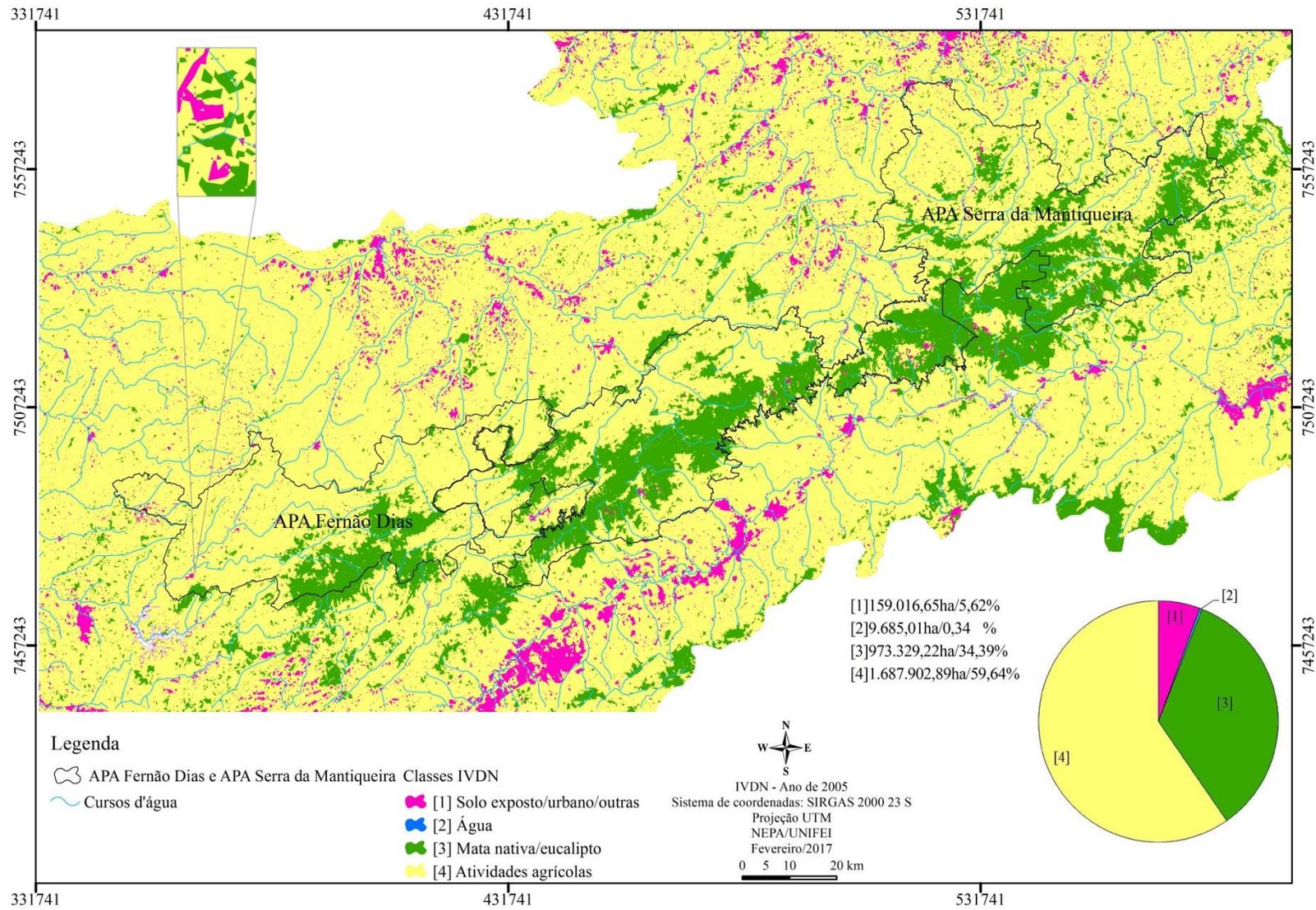
APÊNDICE XII - Uso e cobertura da terra IVDN, ano de 1995.



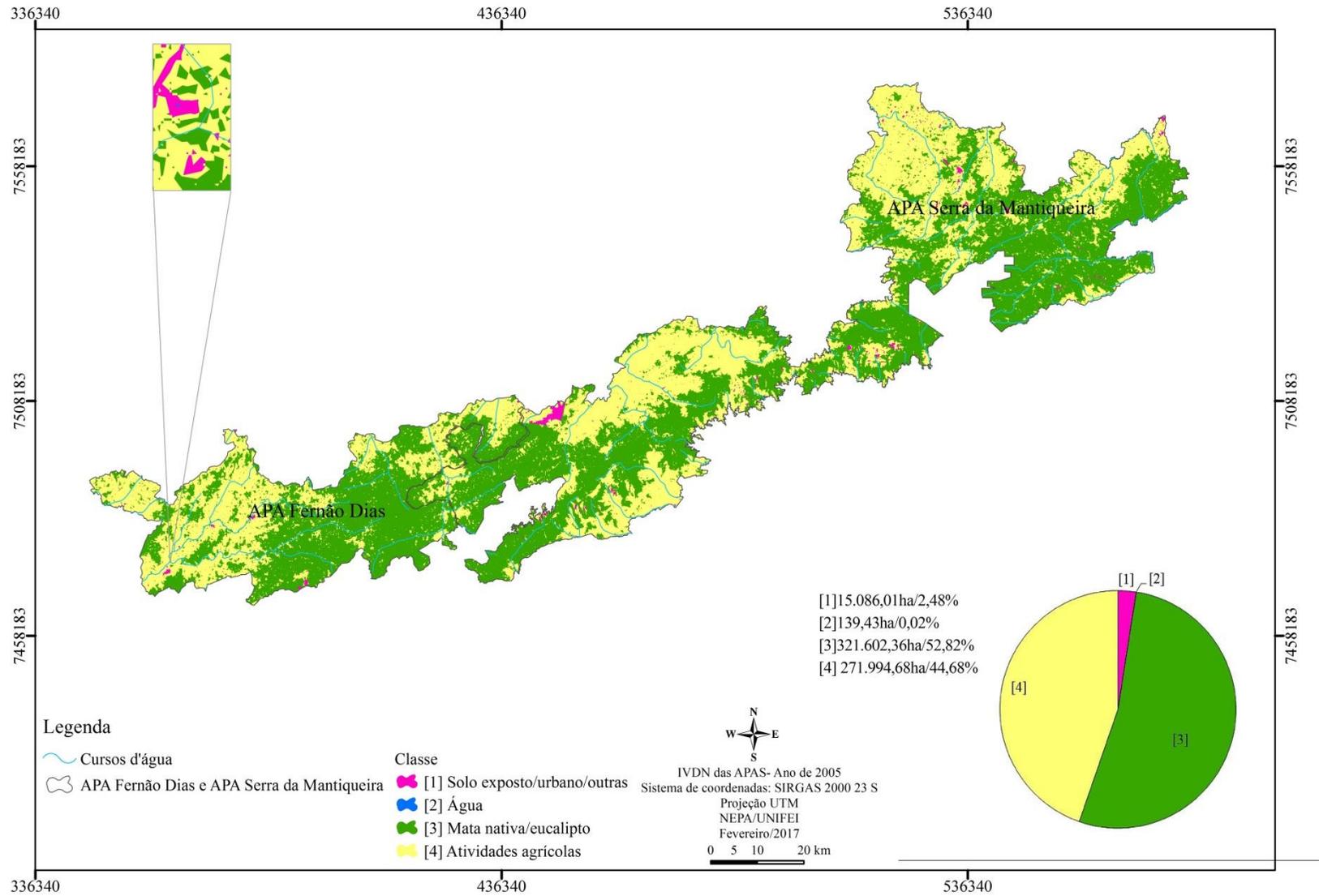
APÊNDICE XIII - Uso e cobertura IVDN ano de 1995, área das APAS.



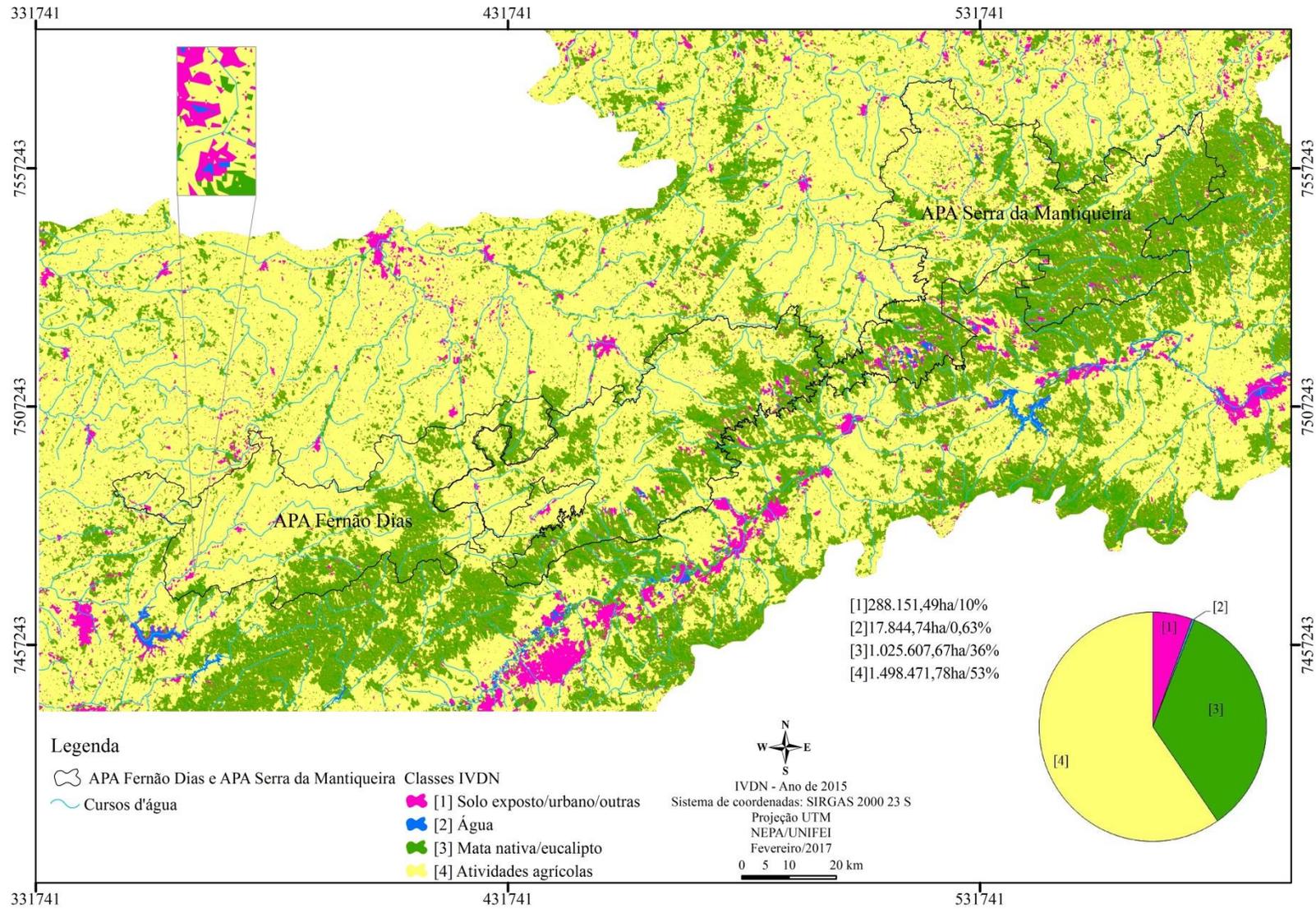
APÊNDICE XIV - Uso e cobertura da terra IVDN, ano de 2005.



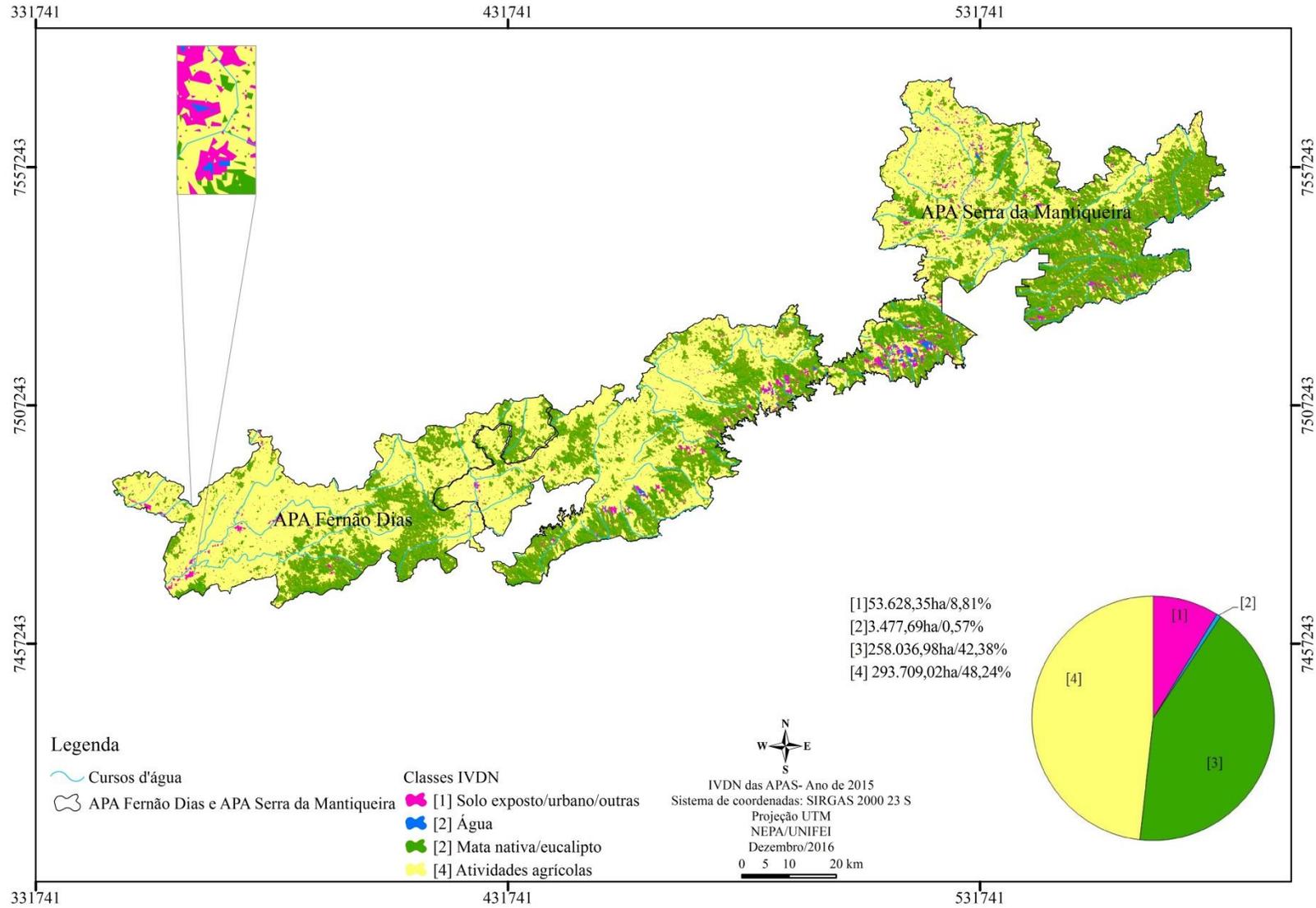
APÊNDICE XV - Uso e cobertura da terra IVDN ano de 2005, área das APAS.



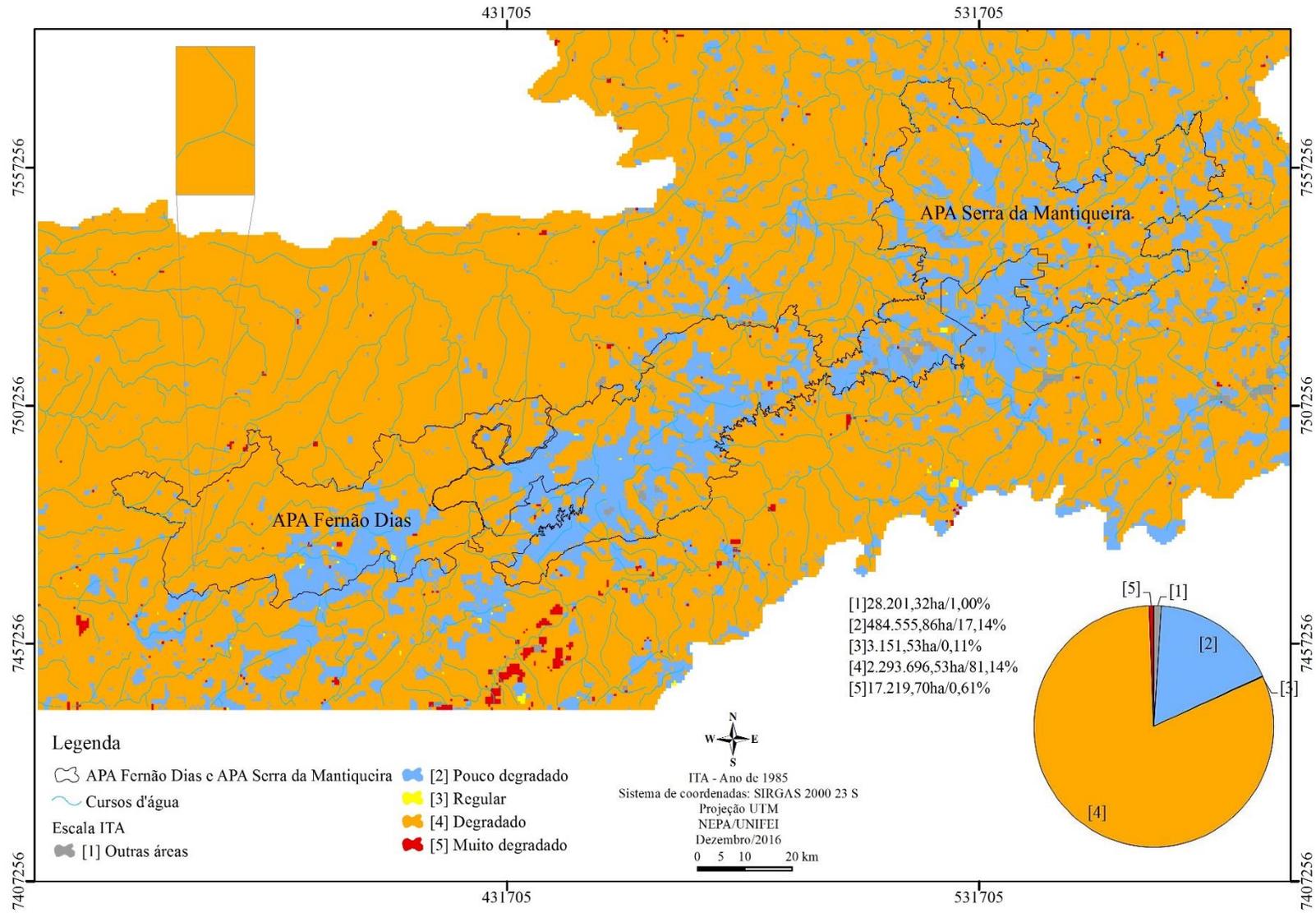
APÊNDICE XVI - Uso e cobertura da terra IVDN ano de 2015.



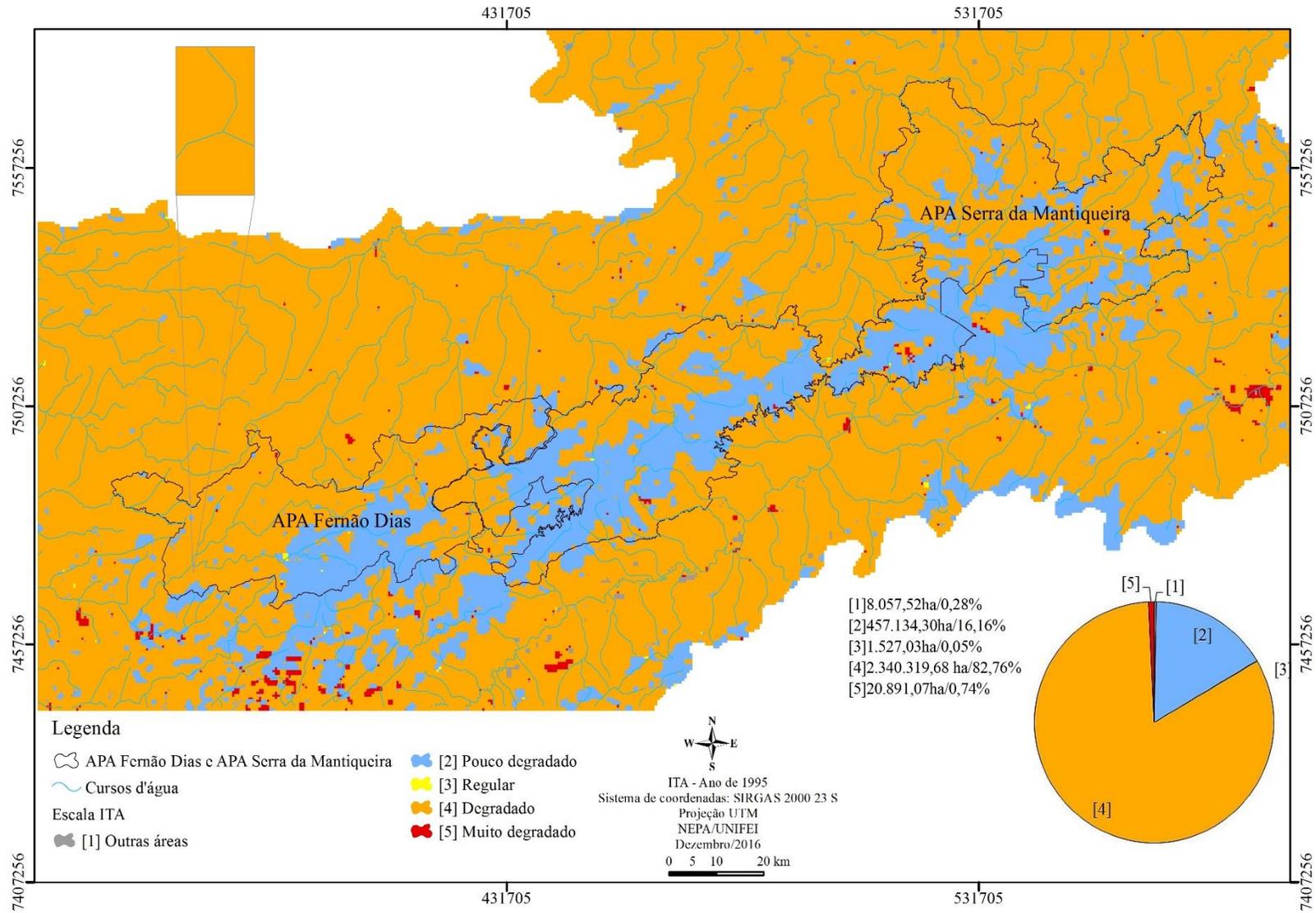
APÊNDICE XVII - Uso e cobertura da terra ano de 2015, área das APAS.



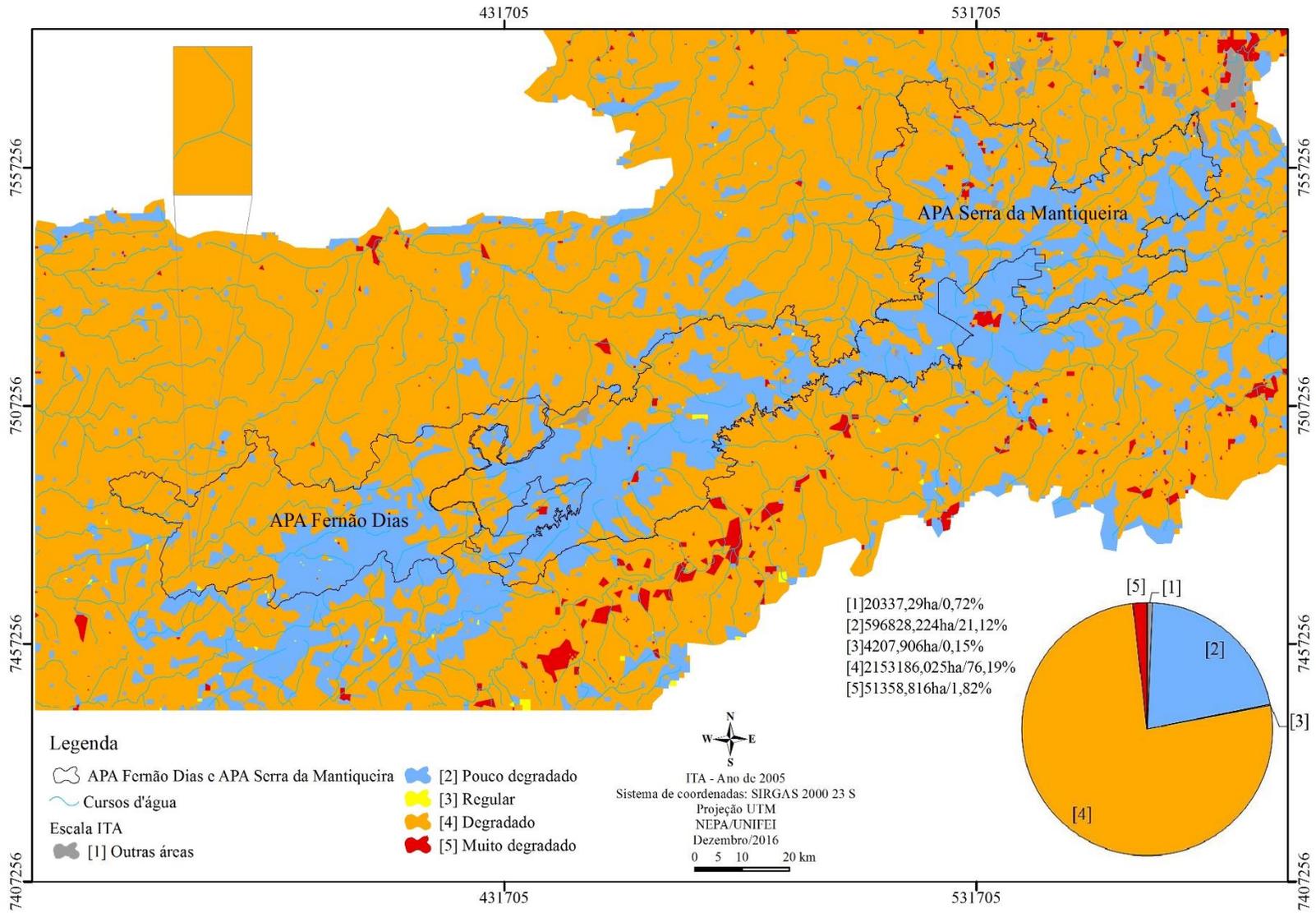
APÊNDICE XVIII - ITA para o ano de 1985.



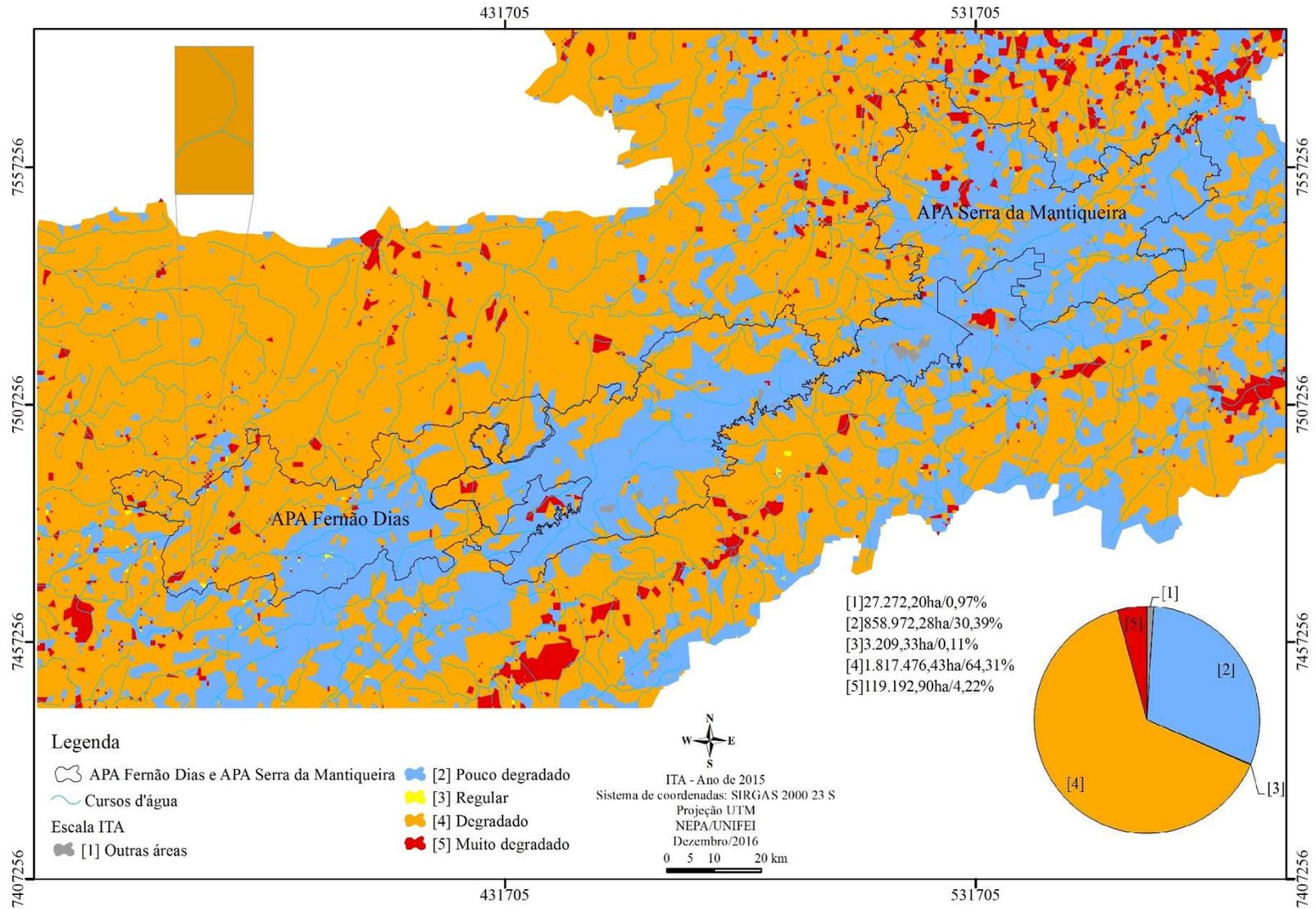
APÊNDICE XIX - ITA para o ano de 1995.



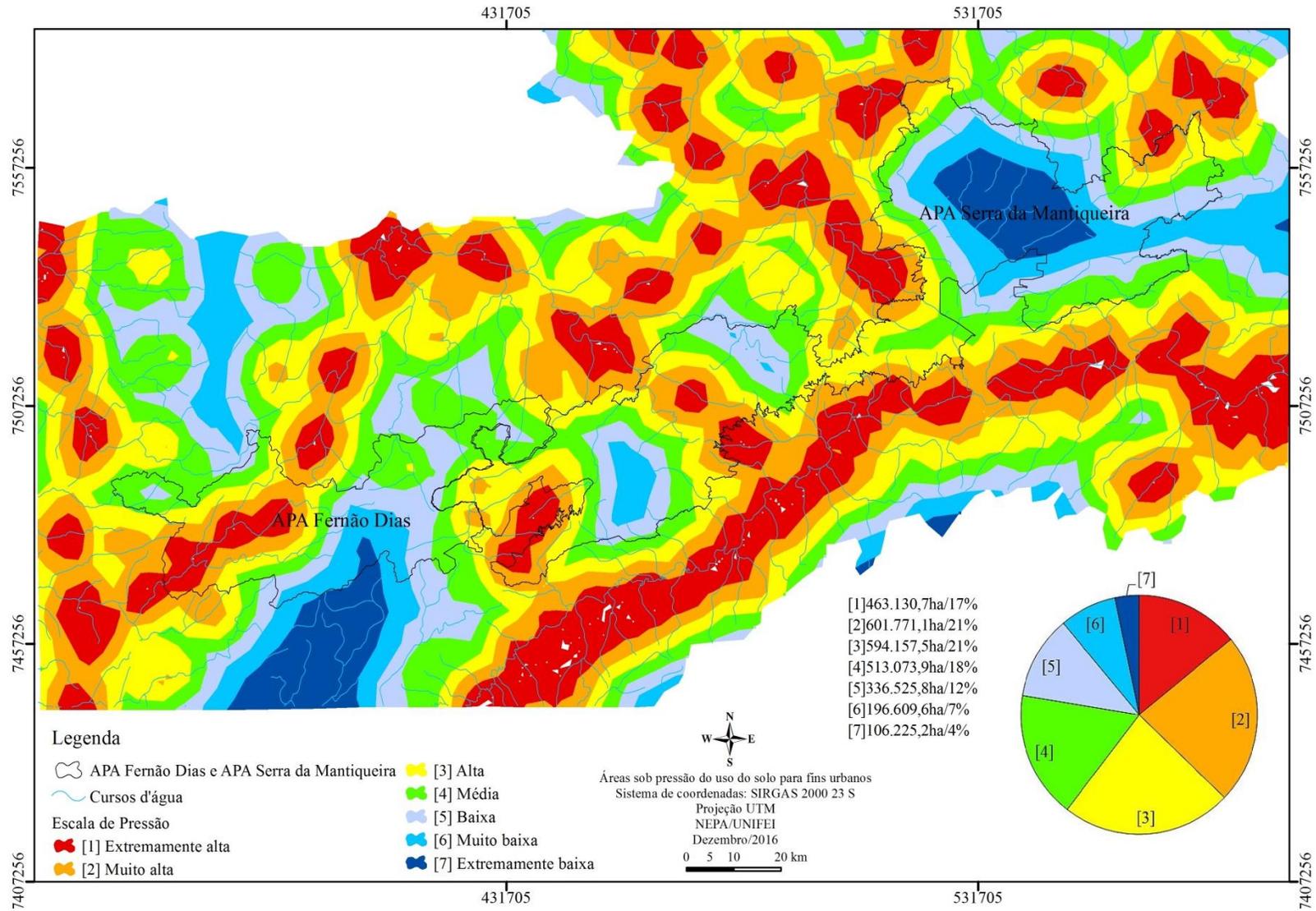
APÊNDICE XX - ITA para o ano de 2005.



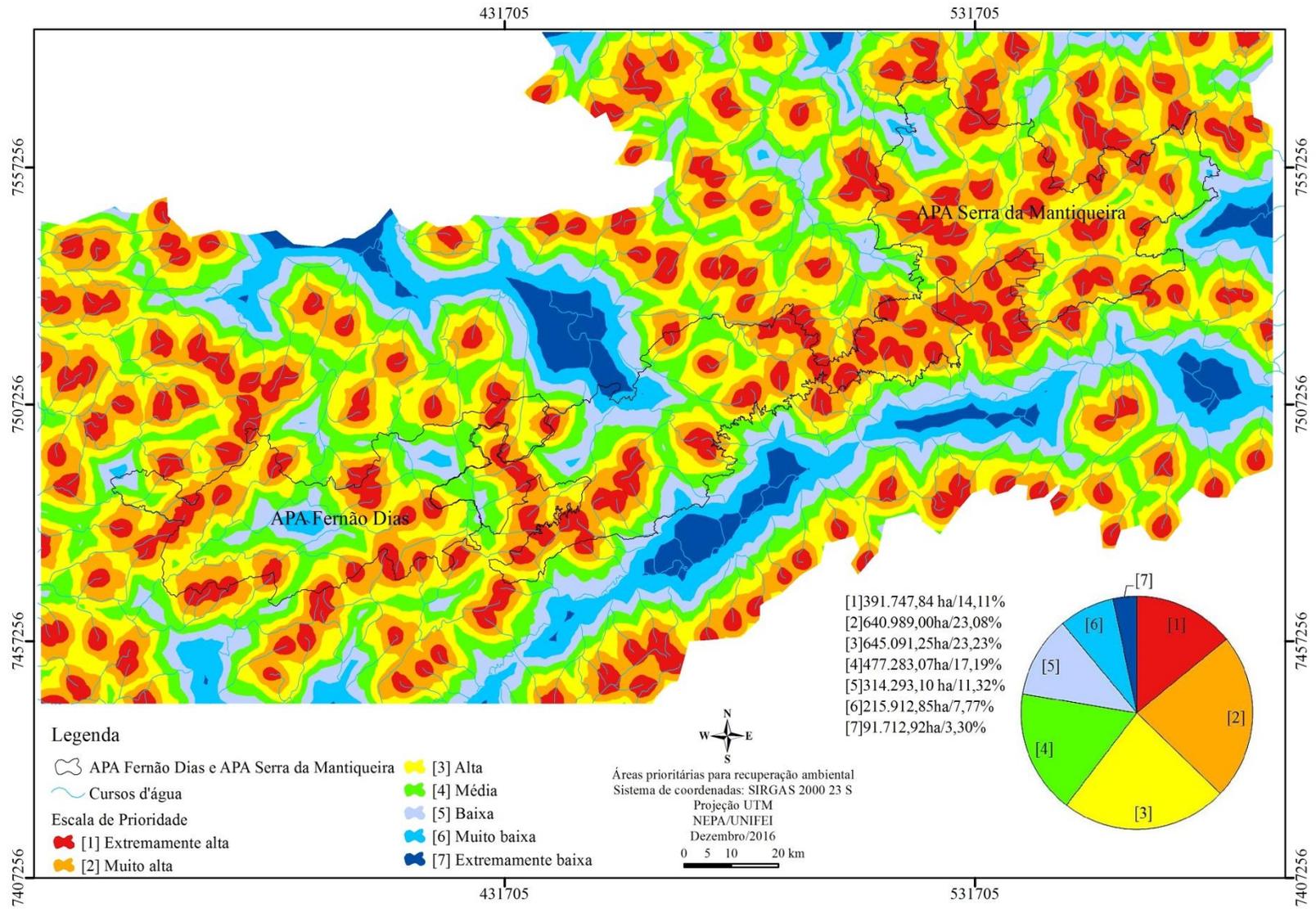
APÊNDICE XXI - ITA para o ano de 2015.



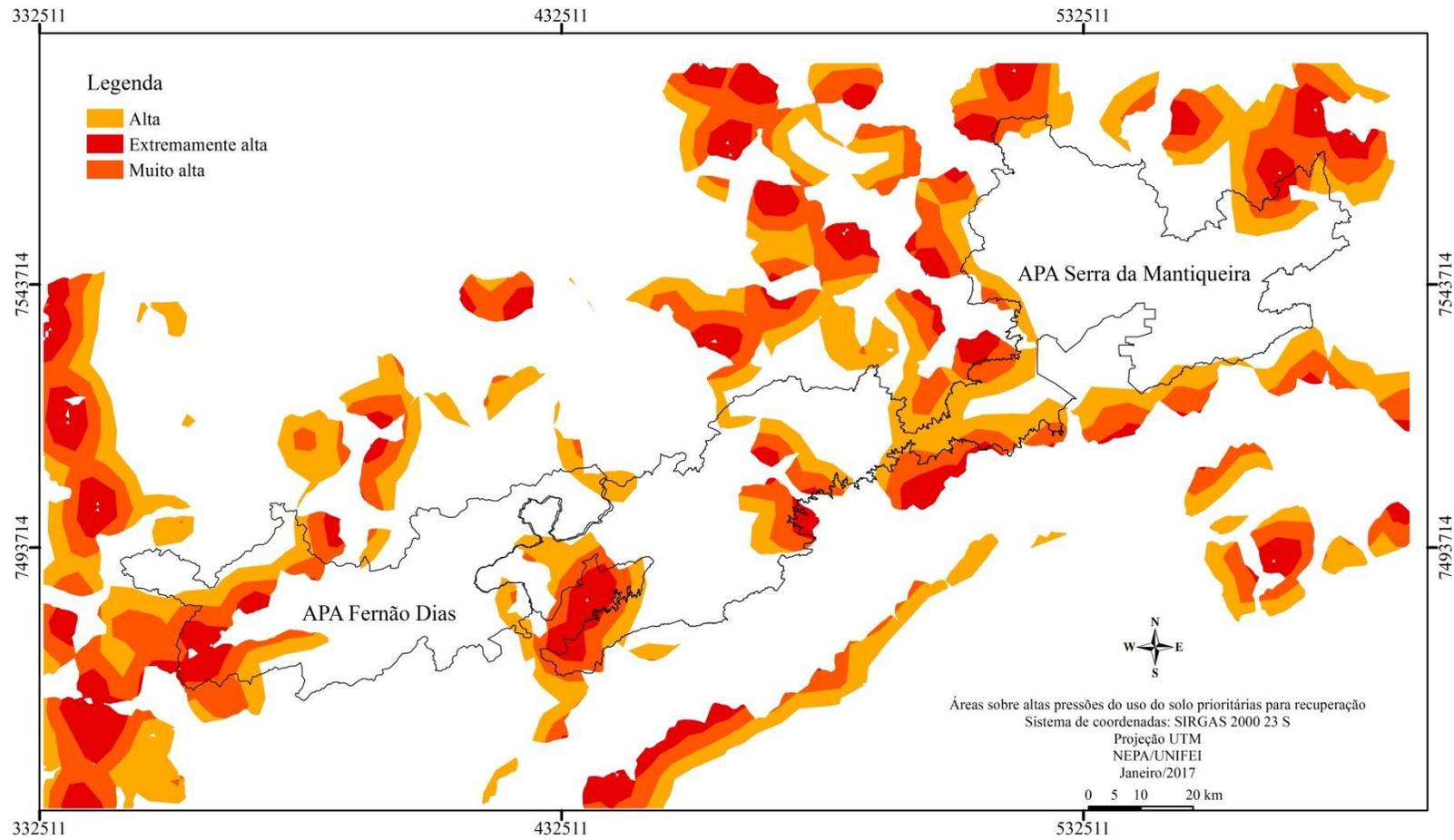
APÊNDICE XXII - Pressão do uso do solo para fins urbanos.



APÊNDICE XXIII - Áreas prioritárias para recuperação ambiental.



APÊNDICE XXIV - Cruzamento das áreas de alta a extremamente alta prioridade de recuperação sobre alta a extremamente alta pressão do uso do solo.



ANEXO

Histórico dos estudos já realizados desde 1997 pelo Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática-NEPA, com financiamento da FAPESP, CNPq e Fapemig. Este estudo é representado no diagrama pelo número (53).

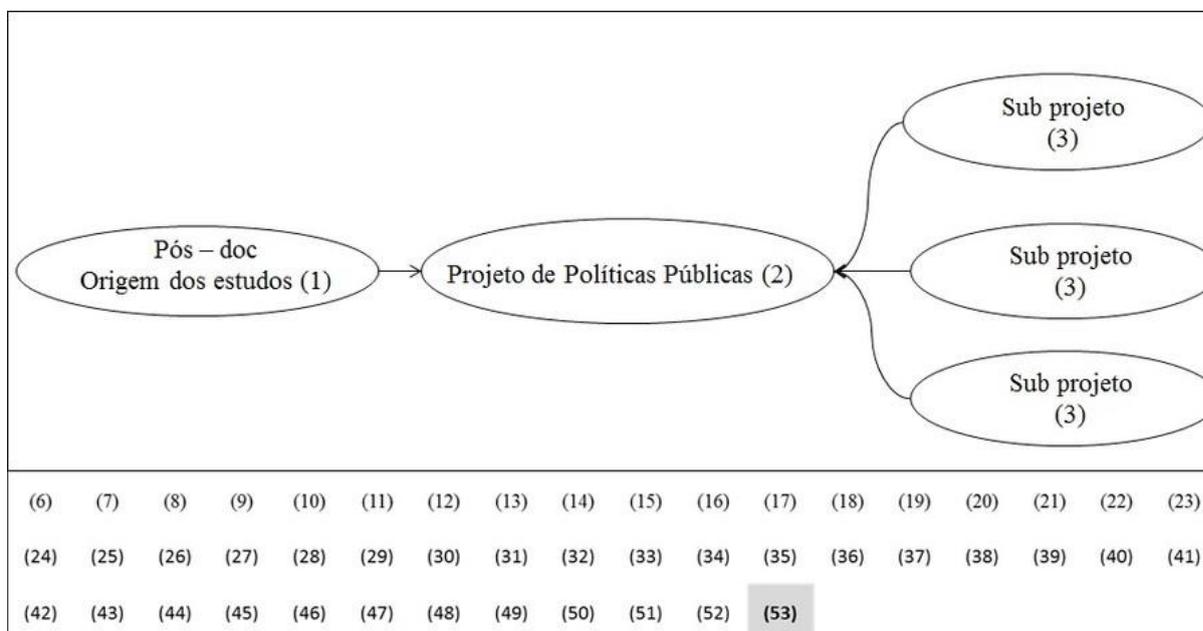


Figura 25 - Histórico de trabalhos realizados pelo NEPA.

() Artigos, Relatórios de Projetos, doutorados, dissertações, iniciações científicas com apoio da Fapesp, Fapemig, CNPq e Capes na forma de bolsas e auxílio financeiro utilizando São Carlos (SP) como área de estudo e demais trabalhos. Até (12) Já concluídos até 2007 durante a vigência do projeto. (13) até (35) Já concluídos e em andamento após a vigência do projeto em 2007. (36) até (53) Já concluídos e em andamento - trabalhos correlatos fora da cidade de São Carlos.

TRABALHOS CONCLUÍDOS DURANTE A VIGÊNCIA DO PROJETO – ATÉ 2007.

(1) DUPAS, F. A. (2001). Crescimento Urbano e suas Implicações Ambientais - Proposta de redirecionamento de cidades de médio porte utilizando as variáveis ambientais, sensoriamento remoto e SIG: Estudo do caso de São Carlos, SP. Relatório de pós- doutorado FAPESP, proc. n. 97/07066-2 e 97/07055-0. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI. UFSCar, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil, 63 pg.

(2) TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; DUPAS, F. A.; SILVA-SOUZA, A. T.; SHIBATTA, O. A. (2007). Uso atual e uso potencial do solo no município de São Carlos, SP – base do planejamento urbano e rural. Relatório final de projeto de pesquisa FAPESP de Políticas

Públicas proc. 98/10924-3. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI. Associação Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental, 95 pg.

(3) SUB-PROJETO (2007). Diagnóstico e prognóstico da qualidade da água dos rios que compõe as bacias hidrográficas do município de São Carlos (SP) relacionados com uso e ocupação do solo, Proc. 98/10924-3.

(4) SUB-PROJETO (2007). Estudo do Índice de Integridade Biótica (IIB) da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, Proc. 98/10924-3. Relatório de Pós-doutoramento da SILVA-SOUZA, Ângela Teresa.

(5) SUB-PROJETO (2007). Análise da influência do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, Proc. 98/10924-3.

(6) MOLINA Jr., V. E. (2003). Recursos Hídricos superficiais da área urbana e de expansão da cidade de São Carlos, SP - Estudo multitemporal. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana - Universidade Federal de São Carlos, Fapesp. Co-Orientador: – processo n. 01/02562-9, 104 pg.

(7) POLI, M. N. (2004). A geografia do espaço vivido: Análise do uso social do solo urbano - estudo de caso na cidade de São Carlos, SP. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana - Universidade Federal de São Carlos, Fapesp. Co-Orientador: –. Processo n. 01/08369- 6, 229 pg.

(8) DUPAS, F. A.; SILVA e SOUZA, A. T.; TUNDISI, J. G.; TUNDISI-MATSUMURA, T.; ROHM, S. A. Indicadores ambientais para planejamento e gestão de bacias hidrográficas. In: José Galizia Tundisi; Matsumura-Tundisi, T.; Galli, C. S.(Org.). Eutrofização na América do Sul: causas, conseqüências e tecnologias para gerenciamento e controle - EUTROSUL. São Carlos: DMD, 2006, v., p. 491-506.

(9) SILVA e SOUZA, A. T.; SCHIBATTA, O. A.; TUNDISI, J. G.; TUNDISI-MATSUMURA, T.; DUPAS, F. A. Parasitas de peixes como indicadores de estresse ambiental e eutrofização. In: José Galizia Tundisi; Matsumura-Tundisi, T.; Galli, C.S.. (Org.). Eutrofização na América do Sul: causas, conseqüências e tecnologias para gerenciamento e controle - EUTROSUL. São Carlos: DMD, 2006, v. 1, p. 373-386.

(10) LUZ, S. R. Análise da relação entre o uso de agrotóxicos, solo e água. 2007. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

(11) GANNAM, M. G. Mapa de uso e ocupação do solo utilizando fotografias aéreas originadas de sensores e aeronave de baixo custo. estudo de caso da bacia do córrego Feijão em São Carlos, SP. 2007. Relatório de bolsa de iniciação científica Fapemig. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

(12) ROSELLI, R. G. Aplicação de metodologia para estudo da influência do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do alto Rio Sapucaí. 2006. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

TRABALHOS CONCLUÍDOS E EM ANDAMENTO APÓS A VIGÊNCIA DO PROJETO – 2007.

(13) GUIMARÃES, M. W. O. (2008). Estudo da relação entre as variáveis ambientais da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

(14) AFONSO, G. F. (2008). Integração de dados baseada em ontologia. Dissertação de Mestrado em Computação. Dep. Computação, Universidade Federal de São Carlos.

(15) RODRIGUES, G. O. (2009). Análise da acurácia temática de classificações de imagens orbitais AVNIR-2/ALOS, CCD/CBERS- 2 E TM/LANDSAT-5, comparando as abordagens de Máxima Verossimilhança e Fuzzy. Dissertação Mestrado em Engenharia de Energia, Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá, Capes.

(16) VIEIRA, A. M. (2009). Estudo da relação entre as variáveis ambientais da bacia hidrográfica do Córrego do Feijão, São Carlos, SP. Estruturação de banco de dados para ambiente de simulação. Projeto de Iniciação Científica PROBIC – FAPEMIG, Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá. 16 pág.

(17) PEREIRA, P. R. G. (2010). Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para avaliação do nível de degradação ambiental na bacia do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

(18) COSTA, C. W. (2010). Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre mananciais de São Carlos, SP. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, Capes.

(19) VIANA, E. H. (2010). Estruturação de Banco de Dados Físicos, Químicos, Biológicos e Geográficos da Bacia do Córrego Feijão em São Carlos-SP. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

- (20) OLIVEIRA, J. A. (2011). Análise da quantidade de sedimentos em bacia hidrográfica - Estudo do caso do caso do Ribeirão do Feijão em São Carlos, SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN Universidade Federal de Itajubá.
- (21) MACHADO, F. H. (2011). Valoração econômica dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão - São Carlos, SP. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, Capes.
- (22) CAVALCANTE, T. D. M. (2013). Planejamento do uso do solo em bacias hidrográficas. Estudo do caso do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.
- (23) CUNHA, R. C; DUPAS, F. A.; TUNDISI, J. G. Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades: estudo de caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP. 2011. Revista Geociências (UNESP. Impresso) , v. 30, p. 399-414, 2011.
- (24) YAGUINUMA, C. A., AFONSO, G. F., FERRAZ, V., BORGES, S., SANTOS, M. T. P. (2011). A Fuzzy Ontology-Based Semantic Data Integration System. Journal of Information & Knowledge Management, Vol. 10, No. 3, pg. 285-299. DOI: 10.1142/S0219649211002997.
- (25) LUZ, F. G. F. (2012). Avaliação do potencial dos dados da SRTM – Shuttle Radar Topography Mission – por meio da análise da estimativa da perda de solo para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, 86 p, Capes.
- (26) CUNHA, R. C. da (2012). Zoneamento ambiental em bacia hidrográfica utilizada como manancial urbano. Estudo do caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão - São Carlos, SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, Capes.
- (27) COSTA, C. W.; DUPAS, F.A.; PONS, N. A. D. Regulamentos de uso e impactos ambientais: avaliação crítica do plano diretor participativo do município de São Carlos, SP. Geociências, v.31, n.2, p.143-157, 2012.
- (28) COSTA, C. W.; DUPAS, F. A.; CESPEDES, J. G.; SILVA, L. F. Monitoramento da expansão urbana, cenários futuros de crescimento populacional e o consumo de recursos hídricos no município de São Carlos, SP. Geociências, v.32, n.1, p.63-80, 2013.
- (29) MACHADO, F. H; SILVA, L. F.; DUPAS, F. A; MATTEDI, A. P; VERGARA, F. E. Economic assessment of urban watersheds: developing mechanisms for environmental

protection of the Feijão river, São Carlos - SP, Brazil. *Brasilian Journal of Biology*. 74 (3), 2014.

(30) MACHADO, F. H.; MATTEDI; DUPAS, F. A.; SILVA, L. F.; VERGARA, F. E. Estimating the opportunity costs of environmental conservation in the Feijão river watershed (São Carlos-SP, Brazil). *Brasilian Journal of Biology* (no prelo), 2016.

(31) COSTA, C. W. ; DUPAS, F. A. ; LORANDI, R.; OLIVEIRA, E. Z. (2015) Follow-up of environmental impacts upon water sources of São Carlos, Brazil. 14 th Computers in urban planning and urban management, p. 156- 22, http://web.mit.edu/cron/project/CUPUM2015/proceedings/Content/modeling/156_costa_h.pdf

(32) COSTA, C. W. ; LORANDI, R.; DUPAS, F. A.. Expansão urbana em áreas de mananciais e a legislação municipal: o caso de São Carlos, SP. Congresso Novos direitos Cidade em crise? (Congresso).

(33) COSTA, C. W.; LORANDI, R.; DUPAS, F. A. (2015). Legislação municipal e a proteção das áreas de recarga em mananciais urbanos: São Carlos, SP. Congresso Novos direitos Cidades em crise? (Congresso).

(34) NEVES, J. A.; MATOS, J. C. S.; LUZ, F. G. F.; DUPAS, F. A. (2015) Recuperação de áreas de preservação permanente com sistema agromata nativa. Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. (Congresso).

(35) NEVES, J. A. Estudo de compensação ambiental na bacia hidrográfica Ribeirão do Feijão, SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, Capes.

TRABALHOS CORRELATOS FORA DA CIDADE DE SÃO CARLOS – CONCLUÍDOS E EM ANDAMENTO

(36) OLIVEIRA, T. F. Análise preliminar da influência do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do alto Rio Sapucaí, MG. 2003. 37 f. Relatório de bolsa de iniciação científica Fapemig. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

(37) COSTA, I. G. D. D. (2006). Análise da perda de solo através de SIG e sensoriamento remoto. Estudo do caso de Santa Rita do Sapucaí, MG. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Trabalho de Conclusão de Curso, Fapemig - Universidade Federal de Itajubá.

(38) DUPAS, F. A. (2009). Plano Diretor Participativo de Santa Rita do Sapucaí, MG. Relatório final de projeto CNPq n. 060/2005 proc. n. 501840/2005-2. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática NEPA - IRN –UNIFEI, maio, Volumes I de II, 243 pg.

- (39) HONÓRIO, D. H. Utilização da ferramenta Idrisi Taiga - módulo ETM na análise espacializada de tendências climáticas no Brasil. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.
- (40) PEREIRA, J. C. (2010). Aplicação do modelo hidrossedimentológico AVSWAT na bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha, MG. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, IRN, Universidade Federal de Itajubá, 116 pg.
- (41) PAES, F. S. (2010). Áreas de Preservação Permanente em bacias hidrográficas e sua importância na prevenção da perda de solo por erosão. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN, Universidade Federal de Itajubá, 60 pg.
- (42) SPERANDELLI, D. I. (2010). Dinâmica e análise do crescimento, dos vazios e das áreas verdes urbanas de Atibaia, SP. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá.
- (43) PAES, F. S.; DUPAS, F. A.; SILVA, F.; PEREIRA, J. C. D. .Espacialização da perda de solo nas bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí (MG). Geociências (UNESP. Impresso) , v. 29, p. 537-549, 2010.
- (44) ABE, C. A. (2014) Características do uso do solo de entorno e suas implicações em Unidade de Conservação. Estudo do Parque Nacional do Itatiaia, RJ. Iniciação Científica. (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Itajubá, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
- (45) TEIXEIRA, D. R. Análise comparativa dos instrumentos de gestão em unidades de conservação visando a gestão socioambiental no Cone Sul. Início: 2012. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- (46) GARGALHIONI, Saulo Roberly; DUPAS, F. A. ; RODRIGUEZ-ARDILA, A.. Previsão dos impactos causados por poluição luminosa com ênfase sobre sítios de observação astronômica e síntese da proposta de legislação nacional. HOLOS Environment (Online), v. 12, p. 27-40, 2012 .
- (47) SPERANDELLI, D. I. ; DUPAS, F. A. ; PONS, N. A. D.. Dynamics of urban sprawl, vacant land, and green spaces on the metropolitan fringe of São Paulo, Brazil. Journal of Urban Planning and Development , 139(4): 274-279, 2013.
- (48) ABE, C. A. (2014). Comparação entre estimativa de perda de solo pela EUPS e a partir de medidas de turbidez em córregos de bacias hidrográficas na APA da Mantiqueira e proximidades. Trabalho de Conclusão de Curso. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Itajubá, CNPq.

- (49) SIQUEIRA, F. B. Análise comparativa dos instrumentos de gestão de áreas protegidas do Brasil e da Austrália. Início: 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA Universidade Federal de Itajubá. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CNPq.
- (50) DE SOUZA, F. L. Análise e proposta de legislação para pagamento por serviços ambientais ou ecossistêmicos. Início: 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA Universidade Federal de Itajubá. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CNPq.
- (51) DA SILVA, H. J. Estudo da relação entre a perda de solo e mananciais e áreas protegidas da Serra da Mantiqueira. Início: 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA Universidade Federal de Itajubá. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CNPq.
- (52) BRANDÃO SILVA, L. K. Desenvolvimento de software como subsídio na avaliação de impactos ambientais. Início: 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA Universidade Federal de Itajubá. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CNPq.
- (53) COELHO, D. S. Análise das mudanças do uso da terra e cobertura vegetativa na Serra da Mantiqueira e entorno através de indicadores ambientais. Início: 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA Universidade Federal de Itajubá, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CNPq. (Em andamento)