

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**FISIOGRAFIA E USO DA TERRA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA  
EM ÁREA DE AFLORAMENTO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI  
(SAG): O CASO DO RIBEIRÃO DO JACÚ, TEJUPÁ/SP (UGRHI-14)**

**JOYCE REISSLER**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,  
para a obtenção do título de Mestre em  
Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU-SP  
Dezembro – 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**FISIOGRAFIA E USO DA TERRA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA  
EM ÁREA DE AFLORAMENTO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI  
(SAG): O CASO DO RIBEIRÃO DO JACÚ, TEJUPÁ/SP (UGRHI-14)**

**JOYCE REISSLER**

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Lilla Manzione

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU-SP  
Dezembro – 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO- BOTUCATU (SP)

R375f Reissler, Joyce, 1982-  
Fisiografia e uso da terra de uma bacia hidrográfica em área de afloramento do sistema aquífero Guarani (SAG): o caso do Ribeirão do Jacú, Tejupá/SP (UGRHI-14) / Joyce Reissler. - Botucatu : [s.n.], 2014  
xiii, 116 f. : ils. color., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2014  
Orientador: Rodrigo Lilla Manzione  
Inclui bibliografia

1. Sistemas de informação geográfica. 2. Recursos hídricos. 3. Recursos naturais - Conservação - São Paulo (Estado). 4. Proteção Ambiental. I. Manzione, Rodrigo Lilla. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: FISIOGRAFIA E USO DA TERRA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA  
EM ÁREA DE AFLORAMENTO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI  
(SAG): O CASO DO RIBEIRÃO DO JACÚ, TEJUPÁ/SP (UGRHI-14)

ALUNA: JOYCE REISSLER

ORIENTADOR: PROF. DR. RODRIGO LILLA MANZIONE

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. RODRIGO LILLA MANZIONE



PROF. DR. SÉRGIO CAMPOS



PROF. DR. EDSON LUÍS PIROLI

Data da Realização: 15 de dezembro de 2014.

**DEDICO**

À todos aqueles que se empenham para um meio ambiente sustentado pelo equilíbrio ambiental, social e econômico.

## AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Por muitas vezes, sonhamos sozinhos, mas na maioria das vezes, os sonhos não se realizam de forma solitária. O caminho foi difícil porém compensador, rico. A todos que me apoiaram, o meu mais terno agradecimento.

Ao Universo, por me dar a energia e fé necessária para realizar.

À minha família: minha mãe, por ser meu ponto de fortaleza, pelo amor transbordado e pela compreensão com minhas ausências; à minha irmã, que mesmo de longe emana tantos cuidados e carinho; aos meus padrinhos, tios, primos e avó que sempre compartilharam com entusiasmo, orgulho e admiração o caminho que escolhi trilhar.

Ao Orientador, Professor e Doutor Rodrigo Lilla Manzione pela oportunidade, confiança e incentivo durante meu período de mestrado acadêmico na UNESP.

Aos colegas e amigos acadêmicos que ganhei de presente nessa jornada, que compartilharam e colaboraram de muitas formas com o desenvolvimento desta dissertação e com meu desenvolvimento acadêmico e pessoal. Destes, minha consideração especial à Claudiane Paes pela grande amizade e parceria, por estar ao meu lado nos momentos mais difíceis como nos mais gratificante.

A todos vocês, minha gratidão.

“Quem elegeu a busca, não pode recusar a travessia”

Guimarães Rosa

## AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Campus de Botucatu – SP pela estrutura de apoio científico-acadêmico e ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem pela oportunidade de me proporcionar a realização de um sonho.

À CAPES pelo apoio financeiro da presente dissertação sem o qual a realização deste trabalho poderia ser comprometido.

Ao Departamento de Ciências do Solo, ao Laboratório de Geoprocessamento e aos integrantes do Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas – GEPAG, que me acolheram e muito me ensinaram, em especial à Prof. Dra. Célia Regina Lopes Zimback, ao Prof. Dr. Luis Gustavo Lessa, ao Diego Augusto de Campos Moraes, Anderson Sartori e Donizeti Nicoleti.

Aos profissionais do Departamento de Engenharia Rural, aos Professores Doutores Sérgio Campos, Luiz César Ribas, Rodrigo Máximo Sanchez Román, Zacarias Xavier de Barros e Valdemir Antonio Rodrigues que contribuíram de forma tão prestativa e atenciosa às minhas dúvidas e com meu enriquecimento acadêmico-profissional.

Aos colegas de disciplinas que alegraram meus dias no Lageado, pelo auxílio nos trabalhos, pelas críticas, pelos exemplos de profissionalismo e pelos momentos de convivência.

Meus mais sinceros agradecimentos a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	IX
LISTA DE FIGURAS .....	X
LISTA DE ABREVIATURAS .....	XIII
RESUMO .....	1
SUMMARY .....	3
1. INTRODUÇÃO .....	5
2. OBJETIVOS .....	9
3. REVISÃO DA LITERATURA .....	10
3.1. Uso da Terra e Bacia Hidrográfica .....	10
3.2. Áreas de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani .....	14
3.2.1. O Sistema Aquífero Guarani .....	18
3.3. Atividade Agrícola e o Avanço da Irrigação .....	19
3.4. As Áreas de Preservação Permanente .....	23
3.5. Sistemas de Informações Geográficas e Geoprocessamento .....	27
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	29
4.1. Área de Estudo .....	29
4.1.1. A Bacia do Alto Paranapanema .....	29
4.1.2. A Bacia do Ribeirão do Jacú .....	35
4.1.2.1. Contexto Histórico e Situação Socioeconômica .....	36
4.1.2.2. Clima e Vegetação .....	38
4.1.2.3. Geologia, Geomorfologia e Pedologia .....	39
4.1.2.4. Águas Subterrâneas .....	41
4.1.3. Material Cartográfico e Digital .....	42



4.1.3.1. Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas.....	42
4.1.3.2. Imagens Landsat .....	43
4.2. Metodologia .....	44
4.2.1. Levantamento de Dados .....	45
4.2.2. Organização e Sistematização.....	45
4.2.2.1. Elaboração do Banco de Dados .....	45
4.2.2.2. Georreferenciamento das Cartas e Imagens.....	46
4.2.2.3. Delimitação da Bacia Hidrográfica e Rede de Drenagem.....	46
4.2.3. Processamento Digital das Imagens.....	46
4.2.3.1. Classificação das Imagens.....	46
4.2.3.1.1. Segmentação das Imagens.....	47
4.2.3.1.2. Amostras de Treinamento e Classificação Supervisionada.....	48
4.2.3.1.3. Tratamento Pós-Classificação.....	50
4.2.3.2. Delimitação das Áreas de Preservação Permanente.....	50
4.2.4. Análise Morfométrica.....	51
4.2.4.1. Caracterização da ordem.....	51
4.2.4.2. Parâmetros Dimensionais da Bacia.....	52
4.2.4.3. Características Relacionadas à Forma.....	52
4.2.4.3. Composição da Rede de Drenagem.....	53
4.2.4.5. Padrão da Rede de Drenagem.....	54
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
5.1. Análise Morfométrica da Bacia.....	56
5.2. Uso da Terra na Bacia .....	61
5.2.1. Mapas do Uso da Terra na Bacia.....	65
5.3. Conflitos de Uso em Áreas de Preservação Permanente.....	68

5.3.1. Mapas do Uso da Terra em Áreas de Preservação Permanente .....	72
5.4. Diagnóstico Ambiental da Bacia.....	75
5.4.1. Cultura Permanente: Café.....	78
5.4.2. Culturas Temporárias: Milho e Soja.....	80
5.4.3. Presença e Avanço da Irrigação .....	84
5.4.4. Os Impactos Negativos.....	86
5.4.4.1. Canais de Drenagem.....	86
5.4.4.2. Nascentes.....	89
5.4.4.3. Represas.....	90
5.4.4.4. Exutório.....	93
5.5. Prognóstico Ambiental.....	96
5.6. Considerações Finais.....	98
6. CONCLUSÕES .....	100
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	103

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1. VALORES (EM $\mu$ ) DOS LIMITES DE COMPRIMENTOS DE ONDA DE SENSIBILIDADE DAS BANDAS ESPECTRAIS TM E ETM+.....	43
TABELA 2. VALORES DE REFERÊNCIA PARA A INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS QUANTO AO FATOR DE FORMA (FF), ÍNDICE DE CIRCULARIDADE (IC) E COEFICIENTE DE COMPACIDADE (KC).....	53
TABELA 3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ.....	57
TABELA 4. ORDEM, QUANTIDADE E COMPRIMENTO DOS SEGMENTOS DE RIOS DA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ.....	61
TABELA 5. ÁREA (HA E %) DAS CLASSES DE USO DA TERRA NA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ E SUAS VARIAÇÕES ENTRE OS ANOS DE 2002 E 2011. ....	62
TABELA 6. ÁREA (HA E %) DAS CLASSES DE USO DA TERRA EM APP NA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ E SUAS VARIAÇÕES ENTRE OS ANOS DE 2002 E 2011.....	69

**LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO PARANAPANEMA (UGRHI-14) E DA ÁREA DE AFLORAMENTO DO SISTEMA AQUIFERO GUARANI (SAG) NO ESTADO DE SÃO PAULO.....	30
FIGURA 2. LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE TEJUPÁ NA UGRH-14.....	36
FIGURA 3. GEOLOGIA DA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ. ....	41
FIGURA 4. FLUXOGRAMA DA SEQUÊNCIA METODOLÓGICA DO TRABALHO. ....	44
FIGURA 5. LIMITE E REDE DE DRENAGEM DA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ.....	57
FIGURA 6. HIERARQUIZAÇÃO DA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ, TEJUPÁ –SP .....	60
FIGURA 7. ÁREA (HA) DAS CLASSES DE USO DA TERRA NA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ NO ANO DE 2002 E 2011.....	62
FIGURA 8. USO DA TERRA NA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ NOS ANOS DE 2002 E 2011.....	63
FIGURA 9. USO DA TERRA NO ANO DE 2002 NA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ .....	66
FIGURA 10. USO DA TERRA NO ANO DE 2011 NA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ .....	67
FIGURA 11. GRÁFICO DA ÁREA (EM HA) DAS CLASSES DE USO DA TERRA NA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ NO ANO DE 2002 E 2011. ....	69
FIGURA 12. USO DA TERRA EM APP NA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ NOS ANOS DE 2002 E 2011.....	70
FIGURA 13. USO DA TERRA EM APP NA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ NO ANO DE 2002. ....	73
FIGURA 14. USO DA TERRA EM APP NA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ NO ANO DE 2011. ....	74
FIGURA 15. PLACA EM FRENTE A UMA FAZENDA DE CAFÉ NA CABECEIRA DA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ. ....	78
FIGURA 16. PLANTAÇÃO À BEIRA DA ESTRADA EM ÁREA DE CABECEIRA DA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ.....	79
FIGURA 17. PLANTAÇÃO DE CAFÉ À JUSANTE DA BACIA E TERREIRO DE CAFÉ PARA A SECAGEM DOS GRÃOS .....	79

FIGURA 18. PLANTAÇÃO DE CAFÉ À JUSANTE DA BACIA E TERREIRO DE CAFÉ PARA A SECAGEM DOS GRÃOS .....	80
FIGURA 19. PLANTAÇÃO DE SOJA LOCALIZADA AO CENTRO DA BACIA DO RIBEIRÃO DO JACÚ. ....	80
FIGURA 20. PLANTAÇÃO DE MILHO LOCALIZADA AO CENTRO DA BACIA RIBEIRÃO DO JACÚ. ...	81
FIGURA 21. CULTIVO EM ROTAÇÃO MILHO E SOJA.....	82
FIGURA 22. ÁREA MANEJADA PARA O PLANTIO DIRETO DE MILHO EM ROTAÇÃO COM A SOJA. ..	83
FIGURA 23. RESTOS CULTURAIS EM ÁREA COLHIDA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO COM ROTAÇÃO MILHO-SOJA.....	83
FIGURA 24. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO (PIVÔ) NA PLANTAÇÃO DE MILHO. ....	85
FIGURA 25. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO (PIVÔ) NA PLANTAÇÃO DE MILHO. ....	85
FIGURA 26. TRECHO DO RIBEIRÃO DO JACÚ.....	87
FIGURA 27. PRESENÇA DE RESÍDUOS SÓLIDOS À BEIRA DO RIO.....	87
FIGURA 28. PRESENÇA DE RESÍDUOS DA IRRIGAÇÃO (TUBOS), TRECHOS SEM MATA CILIAR EM APP COM POSSÍVEL SEDIMENTAÇÃO E ASSOREAMENTO .....	88
FIGURA 29. INDÍCIOS DE ASSOREAMENTO NO RIBEIRÃO DO JACÚ. ....	88
FIGURA 30. NASCENTE DO RIBEIRÃO DO JACÚ ANTROPIZADA SEM A DEVIDA PROTEÇÃO.....	89
FIGURA 31. GALERIA POR ONDE SE ESCOA A ÁGUA DA NASCENTE DO RIBEIRÃO DO JACÚ. ....	90
FIGURA 32. REPRESA SEM A PRESENÇA DE MATA CILIAR PRESERVADA EM SEU ENTORNO.....	91
FIGURA 33. REPRESA ANTROPIZADA, COM PRESENÇA DE CANOS EM SUA MARGEM E AUSÊNCIA DE MATA CILIAR PRESERVADA.....	91
FIGURA 34. REPRESA ANTROPIZADA, COM PRESENÇA DE RESÍDUOS SÓLIDOS E AUSÊNCIA DE MATA CILIAR COMO APP EM SUA MARGEM. ....	92
FIGURA 35. DESCARTE INCORRETO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E EMBALAGENS DE AGROTÓXICOS EM TORNO DA REPRESA. ....	92
FIGURA 36. PRESENÇA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NA REPRESA QUE INDICAM POSSÍVEIS PROCESSOS DE EUTROFIZAÇÃO DA ÁGUA.....	93

FIGURA 37. PRESENÇA DE MATA CILIAR NA MARGEM ESQUERDA DO RIO E SUA AUSÊNCIA NA MARGEM DIREITA. ....	94
FIGURA 38. AUSÊNCIA DE MATA CILIAR NA MARGEM DIREITA DO EXUTÓRIO DO RIBEIRÃO DO JACÚ E PRESENÇA DE GADO, REPRESENTANDO ÁREA DE PASTAGEM EM LOCAL DE PRESERVAÇÃO. ....	94
FIGURA 39. CULTURA DE CAFÉ NA BORDA DO EXUTÓRIO DO RIBEIRÃO DO JACÚ. ....	95
FIGURA 40. GADO EM ÁREA DE PASTAGEM NA MARGEM DO EXUTÓRIO DO RIBEIRÃO DO JACÚ. ....	95

**LISTA DE ABREVIATURAS**

ABAG – Associação Brasileira do Agronegócio  
ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas  
ANA – Agência Nacional de Águas  
APA – Área e Proteção Ambiental  
APP – Área de Preservação Permanente  
APRM – Área de Proteção e Recuperação de Mananciais  
CBH – Comitê de Bacias Hidrográficas  
CBH-ALPA – Comitê de Bacias Hidrográficas do Alto Paranapanema  
CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura  
CEPAM – Centro de Estudos e Pesquisas de Administração Municipais  
CETEC/CTGEO – Centro Tecnológico / Centro de Tecnologia em Geoprocessamento  
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica  
DGI/INPE – Divisão de Geração de Imagens / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
MMA – Ministério do Meio Ambiente  
PDPA – Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental  
PNI – Plano Nacional de Irrigação  
PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos  
PSA – Pagamento por Serviços Ambientais  
SAG – Sistema Aquífero Guarani  
SEADE – Sistema Estadual de Análise de Dados  
SIG – Sistema de Informações Geográficas  
UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

## **RESUMO**

Com a crescente demanda por combustíveis, alimentos e fibras que acompanha o crescimento populacional, o esforço para oferecer água suficiente para a agricultura e prover insumos provoca pressão adicional sobre o meio ambiente. Neste cenário, recursos hídricos subterrâneos têm ganho destaque, sendo uma opção de qualidade de água e pela facilidade de captação próxima às áreas de produção. Interesses conflitantes entre o uso da água e a proteção de mananciais estratégicos reforçam a necessidade de adequação da legislação para que se busque um melhor ordenamento do território e um manejo sustentável dos recursos hídricos. O objetivo deste trabalho foi mapear o uso da terra em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG) e gerar informações para o melhor planejamento e discussão de políticas públicas de conservação dos recursos hídricos subterrâneos em áreas de alta produção agrícola irrigada. A área de estudo foi a Bacia do Ribeirão do Jacú, no município de Tejuapá – SP, localizada integralmente em área de afloramento do SAG, portanto, região considerada vulnerável. Com a classificação supervisionada do uso da terra, através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), pode-se identificar e quantificar as principais atividades desenvolvidas e os conflitos de uso da terra na bacia entre os períodos de 2002 e 2011. Os resultados demonstram a apropriação de sistemas agrícolas e pecuária em Área de Preservação Permanente (APP) e um avanço da agricultura irrigada nas áreas próximas ao exutório da bacia, apontando uma tendência de



intensificação da produção local. Com as informações geradas, foi possível contribuir com propostas para o auxílio em futuras etapas de planejamento ambiental pelos gestores municipais e estaduais, visando a recuperação de APP e preservação de zonas de afloramento e recarga do aquífero. Dentre as propostas, o Programa de Pagamento por Serviços Ambientais se destaca por incentivar os agricultores às práticas conservacionistas como a produção de água nas bacias hidrográficas.

---

**Palavras-chave:** Sistema Aquífero Guarani (SAG), Recursos Hídricos, Áreas de Preservação Permanente (APP), Uso da Terra, Sistema de Informações Geográficas (SIG).

**PHYSIOGRAPHY AND LAND USE OF A WATERSHED IN A GUARANI  
AQUIFER SYSTEM OUTCROP AREA: THE RIBEIRÃO DO JACÚ  
WATERSHED CASE STUDY, TEJUPÁ / SP (UGRHI-14)**

Botucatu, 2014. 121f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author : Joyce Reissler

Advisor: Prof. Dr. Rodrigo Lilla Manzione

**SUMMARY**

With the increasing demand for fuel, food and fiber that follows population growth, the effort to provide sufficient water for agriculture causes additional pressure on the environment. In this scenario, a groundwater resources has been highlighted as a good choice of water quality, due to the possibility of exploration in places near the production areas. The conflicting interests between the use of the water and the protection of strategic sources reinforce the needs for a legislation adaptation looking for a better territorial organization and a sustainable water resources management. This study aimed to map land use in an outcrop area of the Guarani Aquifer System (SAG) and generate information for a better planning and discussion of public policies for groundwater resources conservation in areas with irrigated agricultural production. The study area was the Ribeirão do Jacú watershed, in the municipality of Tejupá - SP, Brazil, located entirely in the outcrop area of SAG, therefore, a high vulnerability region. From supervised satellite image classification of land use and occupation using Geographic Information System (GIS), it was possible to identify and to quantify the major activities developed and the conflicts of the actual land use in the watershed in the period between 2002 and 2011. The results showed the presence of agricultural and livestock systems in Permanent Preservation Areas (PPA) and an improvement of irrigated agriculture in areas closed to the outflow of the basin, indicating a trend of local production intensification. With this information, it was

possible to contribute with assistance proposals for future stages of environmental planning by municipal and state administrators, aiming the recovery of PPA and outcrop and recharge aquifer areas preservation. Among the proposals, the Environmental Services Payment Program stands by encouraging farmers to water conservation practices in the watershed.

---

**Keywords:** Guarani Aquifer System (SAG), Water Resources, Permanent Preservation Areas (PPA), Land Use, Geographic Information System (GIS).

## 1. INTRODUÇÃO

Diante do atual cenário de degradação ambiental, são grandes os desafios para preservação da natureza que envolvem temas diversos como: mudanças climáticas, aquecimento global, aumento populacional, resíduos sólidos, excesso de poluição e contaminação das águas e dos solos, escassez hídrica, perda de biodiversidade, sustentabilidade e desenvolvimento consciente. Sem qualquer pretensão de subestimar a relevância e importância de todos esses temas, que estão de alguma forma interligados, a escassez e gestão dos recursos hídricos se apresentam como um dos maiores desafios da humanidade, dada a essencialidade da água para a continuidade da vida na Terra, pois sua contaminação e/ou ausência levam à redução dos espaços de vida, afetando os ecossistemas e ocasionando desequilíbrio e perda global da qualidade de vida.

A pressão pelo crescimento econômico e populacional leva a uma exploração inadequada dos recursos hídricos. Com o crescimento populacional, cresce também a demanda por água doce, principalmente pela agricultura, que é responsável por cerca de 70% do consumo total desse recurso. A produção de alimentos tem uma alta demanda hídrica e o esforço para oferecer água suficiente para a agricultura provoca uma enorme pressão sobre o meio ambiente. Neste cenário, o aproveitamento específico dos recursos hídricos subterrâneos tem ganhado destaque nos últimos anos, já que é uma boa

opção de qualidade de água e pela facilidade de obtenção em locais próximos às áreas de produção.

Com o aumento da demanda, somada às atividades antrópicas, a quantidade e qualidade das águas subterrâneas têm sido alteradas. No entanto, problemas com o abastecimento de água não estão associados unicamente ao crescimento demográfico ou econômico desordenado e sim pela gestão deficiente desse recurso, incluindo a falta de planejamento do uso da terra e a falta de informação sobre aptidão local, que aliada à poluição dos recursos existentes, resultam na crise atual da água. Além disso, a gestão dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos não é feita de forma integrada, apesar de ser o mesmo recurso: a água.

A agricultura irrigada exerce forte pressão sobre as águas subterrâneas. Do ponto de vista quantitativo quando são bombeadas para alimentar campos de produção e do ponto de vista qualitativo por carregarem nutrientes e agroquímicos para profundidade, atingindo lençóis freáticos e contaminando massas d'água por recarga induzida. Assim, a agricultura praticada em áreas vulneráveis, como as áreas de afloramento de aquíferos, deve ser acompanhada por boas práticas agronômicas e por um uso eficiente da água para que a demanda não ameace a oferta e a qualidade da água preservada.

Cuidados com o uso e manejo do solo e na exploração desse tipo de recurso são necessários, sabendo que a recarga dos aquíferos não ocorre na mesma velocidade de retirada (COSTA, 2000) e que o uso desenfreado de agrotóxicos coloca em risco a integridade dos aquíferos, podendo aumentar sua vulnerabilidade ou se tornar um processo irreversível. A contaminação ocorre a depender dos tipos do agente poluidor e das características físicas, químicas, biológicas e hidrodinâmicas do solo e do meio subterrâneo (SOLDERA, 2011; HIRATA e FERNANDES, 2008).

A falta de planejamento do uso e manejo do solo em áreas rurais, somado à compactação do solo pela pecuária, à drenagem de áreas úmidas, à irrigação agrícola excessiva, contaminação das águas e do solo pelo uso abusivo de agrotóxicos, super exploração dos aquíferos, à não preservação de matas ripárias acarretam em um risco iminente no recurso hídrico subterrâneo. O tipo e o uso do solo são fatores determinantes nos processos de filtração e recarga das águas subterrâneas, pois o tipo de cultura desenvolvida em determinada área bem como seus processos de produção podem

influenciar na quantidade e qualidade da água subterrânea, sendo mais relevante em áreas de afloramento por sua característica de vulnerabilidade.

Com a recente crise hídrica no Estado de São Paulo pela forte estiagem, coloca-se em evidência a necessidade urgente de preservação dos recursos naturais, principalmente em áreas de vulnerabilidade, para a manutenção econômica e da qualidade social. A intensificação da agricultura e pecuária nessas áreas pode por em risco a disponibilidade de água em consequência da derrubada de vegetação natural que protege o solo e os corpos d'água e também por reduzir a evapotranspiração das árvores que influenciam no microclima local responsável pela ocorrência de chuvas que, somada à compactação dos solos pela pecuária, pode acarretar em diminuição na capacidade de infiltração das águas ao subsolo que alimentam os rios perenes. No que se refere aos recursos hídricos, à medida que há uma degradação, tanto pela remoção da vegetação como pela irrigação intensiva de larga escala, reduzem-se os afluentes dos grandes rios, alteram a umidade atmosférica e aumentam a ocorrência de assoreamentos nos corpos d'água que influenciam na atividade de sua vazão. Esses impactos acabam por atingir as próprias atividades e economia do agronegócio e de uma série de serviços que estão comprometidos e que podem ficar inviabilizados pela redução da água ofertada.

Neste cenário se faz necessária a adoção de uma gestão eficiente pautada na preservação de áreas essenciais para a manutenção dos serviços ecossistêmicos e conservação de áreas vulneráveis à manutenção da qualidade e quantidade dos recursos hídricos. Proteger e recuperar mananciais são ações importantes para amenizar problemas futuros de abastecimento de água e garantir a segurança hídrica em situações de estresse sem o perigo de se chegar ao esgotamento dos mananciais se estes não forem preservados. Assim, esse é um momento de grande oportunidade para a discussão de soluções e desenvolvimento de pesquisas que, no futuro, possam evitar nova crise de falta de água.

Por essas razões, conforme o Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo e da Minuta de Lei Específica, propõe-se a criação da Área de Proteção e Recuperação de Manancial da Zona de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani (ALBUQUERQUE FILHO et al, 2010). Com isso, pretende-se compatibilizar o desenvolvimento socioeconômico com a proteção e recuperação da zona de afloramento do SAG por meio da

adequação e implantação de atividades compatíveis com a proteção e recuperação do manancial. Este plano se adequa e soma com a Lei de Proteção e Recuperação dos Mananciais (Lei nº 9.866/97), com o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) e com a Política Nacional de Irrigação (Lei nº 12.787/2013) que incentiva a ampliação da área irrigada e o aumento da produtividade em bases ambientalmente sustentáveis, tendo também como uma de suas diretrizes o uso e manejo sustentável do solo e dos recursos hídricos destinados à irrigação.

Adequar a atividade humana em função da capacidade de suporte do meio é fazer uma parceria com as características naturais do terreno para uma ocupação ambientalmente responsável. Logo, torna-se fundamentalmente necessário caracterizar as diferentes coberturas e uso da terra a fim de gerar uma gestão eficiente do recurso hídrico subterrâneo, prover políticas públicas que incentivem o planejamento pela agricultura e oferecer oportunidades para o uso sustentável.

Ferramentas de geoprocessamento como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permitem elaborar mapas e exibir cenários de vulnerabilidade de aquíferos e, assim, facilitar a compreensão da cobertura do solo para o melhor aproveitamento de forma responsável.

Como já ocorre e são crescentes as discussões sobre programas de incentivos fiscais e pagamento por serviços ambientais aos produtores de água que preservam áreas verdes para a proteção de nascentes, tendo como base a visão integrada de gestão dos recursos hídricos, é imprescindível o desenvolvimento de trabalhos científicos que caracterizem áreas de fragilidade do aquífero e propostas de gestão que garantam a integridade desse recurso, garantindo a quantidade e qualidade de água seguras para as futuras gerações.

## **2. OBJETIVOS**

Como objetivo geral pretende-se contribuir para a proposição de estratégias de manejo em bacias hidrográficas, considerando a característica de vulnerabilidade das áreas de afloramento, e oferecer subsídios para o ordenamento territorial rural que compatibilize crescimento econômico e expansão agrícola com a preservação e conservação dos recursos naturais existentes na região.

O objetivo específico deste trabalho foi mapear o uso da terra em área de afloramento do SAG, classificando as culturas presentes na área de estudo. Além disso, analisar o conflito de uso em APP e o avanço da agricultura irrigada na região. Com esses dados pretende-se gerar informações para um melhor planejamento e discussão de políticas públicas para a conservação dos recursos hídricos subterrâneos em áreas de produção agrícola irrigada. Esse estudo visa, também, incrementar informações sobre o perfil de uso da terra em área de afloramento como contribuição aos planos já existentes de proteção ambiental em áreas de afloramento do SAG no Estado de São Paulo.



### **3. REVISÃO DA LITERATURA**

#### **3.1. Uso da Terra e Bacia Hidrográfica**

Pelo motivo do homem criar e recriar seu espaço a todo momento, muitas vezes modifica o ambiente natural sem pensar nas consequências de suas ações, influenciando diretamente na degradação ambiental em função da não preservação de áreas essenciais à manutenção da qualidade de vida. Tal fato ocorre pela apropriação da terra de forma incompatível ao adequado em relação à sua estrutura e localização, o que pode causar impactos não só de ordem ambiental, mas também social e econômica. É comum a ocorrência da ocupação de áreas impróprias, como o entorno dos cursos hídricos, que são áreas legalmente destinadas à preservação e a manutenção da cobertura vegetal, ou então áreas vulneráveis de afloramento de aquíferos, essenciais para a manutenção da qualidade e quantidade de água dos recursos hídricos.

Dentre as várias definições existentes, o uso da terra está geralmente associado às atividades conduzidas pelo homem em uma extensão de terra ou a um ecossistema, podendo ser considerado como as atividades desenvolvidas pelos homens, com a intenção de obter produtos e benefícios, através do uso dos recursos da terra (BIE; LEEUWEN; ZUIDEMA, 1996).

Nesse sentido, a compreensão da transformação temporal e situação atual do uso da terra se tornam imprescindíveis ao desenvolvimento sustentável. O conhecimento da apropriação do espaço gera informações necessárias para a gestão de futuros conflitos de uso dos recursos naturais, sendo fundamental para orientar a utilização racional do espaço ao retratar as formas e a dinâmica de ocupação da terra. Além disso, representam um instrumento valioso para a construção de indicadores ambientais e para a avaliação da capacidade de suporte ambiental diante dos diferentes manejos da terra, sendo muito utilizada no diagnóstico e monitoramento ambiental (IBGE, 2006), fornecendo subsídios para as análises e avaliações dos impactos ambientais, como os provenientes de desmatamentos e deterioração de mananciais.

A exemplo disso destaca-se a expansão territorial da agricultura sem planejamento, considerada uma das principais atividades antrópicas que alteram o uso da terra com o conseqüente desflorestamento de áreas de interesse ambiental, impactando também a integridade dos recursos hídricos. Motivada pela necessidade crescente de produzir alimentos em quantidades cada vez maiores, as modificações ocorridas no ambiente por esta exploração agrícola têm como principal causa o seu uso desordenado, pela ação antrópica, que utiliza grandes áreas para fins econômicos promovendo a derrubada de importantes áreas de florestas para implantação de empreendimentos agropecuários, sem que haja, em muitas vezes, o mínimo de planejamento que considere a questão ambiental (CORREA, 2006).

A falta de ordenamento territorial adequado às potencialidades e fragilidades naturais da região tem repercutido na qualidade de vida das populações, afetando o equilíbrio ambiental das bacias hidrográficas. Portanto, o estudo do uso da terra consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem ou pela caracterização dos tipos e categorias de vegetação natural que reveste o solo (FERREIRA et al, 2005). Assim, o conhecimento da distribuição espacial dos tipos de uso e da cobertura da terra torna-se uma poderosa ferramenta para planejadores e legisladores para a tomada de decisão pois, ao verificar a utilização do solo em determinada área, sabendo-se de suas fragilidades e vulnerabilidades, é possível elaborar uma melhor política de uso da terra para o desenvolvimento consciente da região.

No contexto de sustentabilidade hídrica, Vieira e Gondim Filho (2006) defendem a necessidade de se estabelecer mecanismos de convivência com a vulnerabilidade regional para que os objetivos gerais de uma política de água alcancem padrões desejáveis de sustentabilidade, devendo ocorrer compatibilidade entre a oferta e a demanda de água, tanto de forma quantitativa quanto qualitativa. Segundo esses autores, algumas das estratégias para a preservação hidro-ambiental e a conservação dos recursos hídricos são: proteção dos ecossistemas e conservação da diversidade ecológica; manejo adequado do solo, de forma a minimizar a erosão e seus impactos sobre os recursos hídricos; recuperação das áreas degradadas e minimização do processo de desertificação; disciplinamento do uso do solo; proteção das nascentes e dos aquíferos; controle de perdas e desperdícios e educação ambiental.

Para o planejamento e gestão dos recursos naturais e seus conflitos, considera-se a adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente – MMA a Lei Estadual 7.663/91 e na Lei Federal 9.433/97. Segundo Ricordi (1994), o desenvolvimento de uma determinada região deve estar articulado a uma gestão integrada da bacia hidrográfica, utilizando os recursos naturais nela presente de forma a garantir a sustentabilidade ambiental local, a evitar conflitos de usos e a garantir a equidade na distribuição dos mesmos.

Muitas definições para bacia hidrográfica são sugeridas pela literatura, dentre elas, a definição proposta por Barrella (2001) que descreve a bacia hidrográfica como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, seu contorno e limitado pelas partes mais altas do relevo, conhecidas como divisores de água, onde as águas das chuvas ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático. As águas superficiais escoam para as partes mais baixas do terreno, formando riachos e rios, sendo que as cabeceiras são formadas por riachos que brotam em terrenos íngremes das serras e montanhas e à medida que as águas dos riachos descem, juntam-se a outros riachos, aumentando o volume e formando os primeiros rios, esses pequenos rios continuam seus trajetos recebendo água de outros tributários, formando rios maiores até desembocarem no oceano.

De acordo com Mota (1999), o planejamento territorial de uma bacia hidrográfica constitui o melhor método para evitar a degradação de seus recursos naturais,

levando em consideração suas características ambientais. Planejar e gerenciar as formas de intensidade de uso em uma bacia refletem diretamente na qualidade e quantidade de recursos hídricos disponíveis para a população.

A bacia hidrográfica é um excelente referencial de gestão, pois constitui em um sistema natural definido geograficamente onde os fluxos de entrada e saída e suas respectivas interações podem ser integrados. Além disso, constitui-se uma unidade espacial de fácil reconhecimento e caracterização e estreitamente ligada ao seu manejo e manutenção da qualidade dos recursos hídricos (SANTOS, 2004).

Para Guerra e Cunha (2000) a bacia hidrográfica é uma unidade integradora que permite a análise das dinâmicas e interações entre as variáveis ambientais e sociais que constitui a paisagem. Torna-se possível entender os processos nela desenvolvidos e suas alterações, permitindo ações de planejamento frente aos desequilíbrios antrópicos. A exemplo disso está a expansão e a intensificação da produção agrícola, que resultam em alterações na cobertura da terra e desencadeiam processos que podem impactar todo um ecossistema (ROCHA e ARAÚJO, 2011).

Uma das óticas mais importantes nos estudos de bacias hidrográficas está nos estudos de uso da terra, elaborados com auxílio de técnicas de classificação de imagens produzidas por sensoriamento remoto, uma das principais ferramentas para o planejamento e manejo dessas áreas. O planejamento ambiental, segundo Santos (2004), abrange em seu contexto a interação e a dinâmica do meio estudado e realiza avaliações de impactos ambientais focados nos riscos potenciais de ocorrência e as fragilidades do meio. Este processo culmina no manejo dos recursos naturais de forma a garantir o acesso da população presente e futura a recursos de qualidade e em quantidade satisfatória. Desta forma, o planejamento ambiental assistido da identificação de riscos ambientais potenciais constitui um dos instrumentos fundamentais para a proteção das águas e dos recursos naturais presentes na bacia hidrográfica planejada.

### 3.2. Áreas de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani

No cenário atual de grande demanda de água para suprir principalmente a produção agrícola, a água subterrânea torna-se cada vez mais importante para o abastecimento, sendo uma fonte estratégica de acordo com sua boa disponibilidade tanto em termos de quantidade como de qualidade de água para diversas atividades, bem como desempenhar papel fundamental para o bem estar humano e o equilíbrio de ecossistemas aquáticos.

Feitosa e Manuel Filho (2000) dizem “Um pouco mais de 97% da água doce disponível na Terra encontra-se no subsolo e, portanto menos de 3% da água potável disponível no planeta provém das águas de superfície”, com isso nos damos conta da imensidão e da importância que este recurso tem para nossas gerações e se preservado, para as gerações futuras. Segundo Foster et al (2006) “a água subterrânea é um recurso natural vital para o abastecimento econômico e seguro nos meios urbano e rural”

A água subterrânea é toda a água que ocorre abaixo da superfície da terra preenchendo os poros ou vazios inter-granulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, que sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. As águas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água da chuva (BORGHETTI et al, 2004). A água subterrânea origina-se da chuva que precipita e infiltra no solo. Sendo assim, a quantidade de água a se infiltrar depende da quantidade de chuva e tipo de litologia.

Já um aquífero é um reservatório subterrâneo de água, caracterizado por camadas ou formações geológicas suficientemente permeáveis, capazes de armazenar e transmitir água em quantidades que possam ser aproveitadas como fonte de abastecimento para diferentes usos (IRITANI e EZAKI, 2012).

O Estado de São Paulo é o maior usuário de águas subterrâneas do Brasil, suprimindo o abastecimento de água de 80% de seus municípios, mesmo que parcialmente (CETESB, 2010). No entanto, o uso indiscriminado e sem planejamento adequado da água subterrânea pode provocar sua superexploração, ocasionando em esgotamento do manancial refletindo em desaparecimento de nascentes, inutilidade de

poços, diminuição da umidade dos solos, desequilíbrio no regime de recarga de base dos rios, entre outros. Além disso, o uso inadequado da terra, principalmente em áreas de afloramento e recarga, pode ocasionar em contaminação dos aquíferos, impermeabilização do solo gerado por compactação e diminuição de infiltração e percolação como recarga natural.

No Brasil, tem-se observado, quase sempre, que não há conformidade de uso do solo de acordo com sua aptidão, tampouco são considerados aspectos agroclimáticos, importantes na implantação de sistemas agrícolas mais produtivos e ambientalmente mais equilibrados. Tal comportamento tem sido responsável pelo uso agrícola de áreas frágeis, do ponto de vista ambiental, em extensas porções do território brasileiro. Um exemplo de ocupação de áreas frágeis no Brasil é a que contempla a faixa de recarga ou de afloramento.

A importância de se conhecer melhor a ocupação das áreas de afloramento de um aquífero é decorrente da fragilidade que elas oferecem em relação ao uso agrícola e, conseqüentemente, da possibilidade de descida de produtos químicos até a subsuperfície. Trabalhos realizados pela Embrapa nessas áreas evidenciaram que as atividades agrícolas utilizam uma carga considerável de produtos químicos potencialmente contaminantes, o que possibilitou uma avaliação do nível de comprometimento das práticas agrícolas, não só com a conservação do solo, mas também com o risco de contaminação da água subterrânea por moléculas orgânicas, principalmente herbicidas (GOMES et al, 1996; EMBRAPA, 1999; EMBRAPA, 2002; PESSOA et al, 1998; PESSOA et al, 1999; GOMES et al, 2001; SPADOTTO et al, 2002; PESSOA et al, 2003; MATALLO et al, 2003; MATALLO et al, 2005).

A fragilidade ou vulnerabilidade de um aquífero à poluição significa sua maior ou menor susceptibilidade de ser afetado por uma carga contaminante imposta. Segundo Ribeira (2004) essa vulnerabilidade natural ou intrínseca dos aquíferos pode ser definida como uma série de atributos ou características do mesmo que são o solo, a zona não saturada, os parâmetros hidráulicos do aquífero e a recarga, que controlam a aptidão do aquífero para fazer frente a um impacto indeterminado e sua capacidade de auto restauração.

É possível reconhecer áreas mais e menos susceptíveis à contaminação no Sistema Aquífero Guarani (SAG). As áreas aflorantes são aquelas que são

mais facilmente contamináveis, em oposição à porção de forte confinamento, onde a vulnerabilidade é nula. A área de confinamento caracteriza-se por apresentar vulnerabilidades baixas a nula, entretanto, a espessura dos basaltos, quando associadas a fraturas abertas, poderia permitir o ingresso de contaminantes da superfície até o SAG. Nesta área, a situação é intermediária entre as duas anteriores, e a possibilidade de recarga através dos basaltos, que a cobrem e confinam, pode propiciar maior vulnerabilidade à poluição e recarga adicional (ABAG, 2008).

Deve-se ao máximo evitar impactos de ordem quantitativa como qualitativa dos mananciais subterrâneos. Um aquífero quando submetido a processos de esgotamento tende a não recuperar suas condições anteriores de armazenamento e, além disso, são onerosos os processos de sua remediação.

A gestão da água subterrânea não pode ser efetuada sem considerar sua integração com as águas superficiais sabendo-se da interconexão desses dois sistemas. A própria Lei Estadual nº 7.663/91 de São Paulo, que estabelece a Política Estadual de Recursos Hídricos, em um de seus princípios defende o gerenciamento descentralizado, participativo e integrado das águas superficiais e subterrâneas, tanto em seus aspectos quantitativos quanto qualitativos. Também no que se refere aos recursos hídricos estaduais, foi estabelecida a Lei Estadual nº 9.866/97, a “Nova Lei de Mananciais”, que defendem a criação de Áreas de Proteção e Recuperação de Mananciais (APRM's) e a elaboração de diretrizes de criação e ocupação a cada APRM, de forma individual. Dentre seus instrumentos, destacam-se o Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental (PDPA), a formulação de monitoramentos, de fiscalização sujeita a penalidades pela infração e compensação pela preservação.

Discute-se, atualmente a criação de uma APRM para um aquífero, neste caso, o SAG, devido à sua importância no Estado de São Paulo (ALBUQUERQUE FILHO et al, 2010). O projeto visa proporcionar conhecimento de áreas vulneráveis do aquífero para a sua proteção e gerar conscientização para a sua gestão.

A APRM-SAG compreende a região hidrogeologicamente denominada como zona de afloramento do SAG, acrescentando-se uma faixa de segurança de 2,0 km em seu perímetro. Compreende uma área de aproximadamente 26.000 km<sup>2</sup>, envolvendo 105 municípios de 9 UGRHIs. (ALBUQUERQUE FILHO et al, 2011)

Segundo Albuquerque Filho et al (2011), as cidades que compreendem a APRM-SAG caracterizam-se:

- Baixos índices de tratamento da água, implicando no aumento da contaminação de suas águas;
- Mais de cem municípios utilizam as águas do SAG;
- A atividade agrícola (75%) é predominante. Uma vez que as atividades agrícolas utilizam grandes quantidades de fertilizantes e agrotóxicos, fazendo da fiscalização um instrumento importante para evitar a poluição;
- As áreas ocupadas por cobertura vegetal e corpos d'água, sabendo-se que são fundamentais para a proteção dos recursos hídricos correspondem apenas 24%;
- Estão inseridas nove Unidades de Conservação de Proteção Integral e dezesseis Unidades de Conservação de Uso Sustentável.
- De uma forma geral, a qualidade da água da área de afloramento do SAG em São Paulo atende ao padrão de potabilidade.

Assim, na APRM-SAG sugere-se, através da Lei 9.866/97, que as Áreas de Intervenções sejam divididas em: Área de Restrição à Ocupação (ARO), Áreas de Ocupação Dirigida (AOD) e Áreas de Recuperação Ambiental (ARA). Em sua maior parte, foi enquadrada com subárea de ocupação controlada (80%), assim, cada município deverá compatibilizar as diretrizes com as peculiaridades de cada região (ALBUQUERQUE FILHO et al, 2011).

As diferentes atividades antrópicas que ocorrem na área de afloramento do SAG podem ser possíveis fontes de contaminação do aquífero. Segundo Hirata (1994), o conceito de vulnerabilidade de aquíferos à contaminação antrópica é seguramente uma das formas mais adequadas de se encarar a preservação da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos. Adequar a atividade humana em função da capacidade de suporte do meio, ou seja, quanto ele pode atenuar cargas contaminantes, é fazer uma parceria com as características naturais do terreno para uma ocupação ambientalmente responsável. A vulnerabilidade natural de um aquífero se refere à acessibilidade de contaminantes e suas características litológicas (FOSTER et al, 2006).



Sabendo-se da vulnerabilidade de um determinado local e que o uso da terra pode comprometer a médio e longo prazo a qualidade da água subterrânea, é possível adequar as atividades de uma determinada região à conservação dos recursos hídricos que, juntamente com a caracterização do uso da terra, tornam-se uma importante ferramenta de gestão. Visando a proteção do SAG, fica evidente a necessidade do disciplinamento da ocupação territorial nessas áreas. Assim, medidas de proteção são necessárias para a manutenção da qualidade das águas subterrâneas

### **3.2.1. O Sistema Aquífero Guarani**

O SAG destaca-se como o maior reservatório do Estado de São Paulo e é considerado um dos maiores reservatórios de água subterrânea do mundo. Está localizado na Bacia Geológica do Paraná, ocupando cerca de 1087.879 Km<sup>2</sup> e abrangendo quatro países do Mercosul: Brasil (71%), Argentina (19,01%), Paraguai (6,01%) e Uruguai (3,08%), segundo a OEA (2009). No Brasil são 735.917 Km<sup>2</sup>, distribuídos em 8 estados da região leste e centro-sul: MS, RS, SP, PR, GO, MG, SC e MT. No Estado de São Paulo a ocorrência do SAG é de aproximadamente 143.000 km<sup>2</sup> (OEA, 2009).

As formações geológicas no Brasil compreendem duas unidades: as formações Botucatu e Piramboia. Devido às suas características sedimentar, o SAG possui grande quantidade de poros interconectados, enquadrando-se como sistema aquífero sedimentar/granular, com elevada capacidade de armazenamento e fornecimento de água, caracterizando-se como um aquífero de grande produtividade (ROCHA, 2005 citado por ALBUQUERQUE FILHO et al, 2011).

O SAG é regionalmente livre em sua porção aflorante, com aproximadamente 15.000 km<sup>2</sup>, a predominantemente confinado, com aproximadamente 128.000 km<sup>2</sup>. A característica de confinamento é devido à presença de camadas constituídas por rochas basálticas do Aquífero Serra Geral que ocorrem superpondo as camadas que compõem o sistema (ALBUQUERQUE FILHO, 2011).

### 3.3. Atividade Agrícola e o Avanço da Irrigação

Para atender o crescimento populacional e sua demanda por alimentos, combustíveis e fibras, se faz crescente a expansão agrícola e a intensificação do uso dos recursos naturais, tendo como consequência, dentre outros, a supressão de florestas e impactos negativos na qualidade e quantidade dos recursos hídricos, acarretando em processos de degradação da terra.

A agricultura é historicamente a maior força de transformação da cobertura do solo (RAMANKUTTY et al, 2007; GIBBS et al, 2010). A área agrícola mundial aumentou de 3 a 4 milhões de Km<sup>2</sup> em 1700 para 15 a 18 milhões de Km<sup>2</sup> em 1990 e, entre 1980 e 2000, mais de 80% das novas áreas agrícolas resultaram de desflorestamento em áreas tropicais (GIBBS et al, 2010). Essa demanda por novas áreas agrícolas se manterá ao menos pelas próximas quatro décadas. (BRUINSMA, 2009).

De acordo com Bezerra e Veiga (2000), o desmatamento e o manejo inadequado dos solos levam à degradação de sua estrutura física e iniciam processos de erosão. Os solos empobrecidos pelos processos erosivos exigem mais fertilizantes que, em sua maioria, não suprem de modo natural as necessidades nutricionais das plantas, tornando-as assim mais sensíveis aos ataques de pragas e doenças, o que leva ao agricultor a associar o uso de fertilizantes com a aplicação de defensivos agrícolas. Esse ciclo, bastante comum na agricultura moderna, vem acarretando uma série de impactos, em especial, aos recursos hídricos. O presente cenário torna-se ainda mais agravante em áreas vulneráveis, como é o caso de locais com ocorrência de afloramento e recarga de aquíferos.

A atividade agrícola no Brasil tem expandido sua fronteira de forma desorganizada, atingindo áreas frágeis do ponto de vista ambiental. Uma dessas áreas inclui os conhecidos pontos de recarga ou afloramento de aquíferos, bastante vulneráveis à contaminação por agroquímicos. As áreas de afloramento do SAG constituem importantes entradas de água no sistema hídrico, sendo de fundamental importância para sua recarga. Diversos fatores como as características estruturais do solo, tipo de cobertura, tipo de preparo do solo e manejo inadequado, vão interferir nos processos de drenagem e recarga do aquífero.

Com a intensa expansão das atividades agrícolas surgem os impactos causados com as cargas poluentes, destacando o Brasil como um dos maiores consumidores de agrotóxicos no mundo, cuja aplicação praticamente não é controlada. É cada vez maior a preocupação com os aumentos de escoamento de resíduos de nitrogênio, fósforo e agrotóxicos nas águas superficiais e subterrâneas. Os nitratos são os componentes químicos mais comuns nos aquíferos do mundo (SPALDING e EXNER, 1993). Além da contaminação por nitrato, as atividades agrícolas são associadas à salinização da água superficial, a eutrofização (excesso de nutrientes), aos agrotóxicos no escoamento superficial e subsuperficial e as alterações de padrões de erosão e sedimentação (ANA, 2011).

Em áreas predominantemente agrícolas, as águas carreadas aos cursos d'água frequentemente transportam solo muitas vezes adubados ou corrigidos a altos custos por agricultores, o que propicia a poluição de águas superficiais e até do lençol freático em casos de lixiviação do solo, comprometendo a utilização dos recursos hídricos destas bacias para o abastecimento urbano e irrigação (ASSAD et al, 1998). A poluição difusa, resultante do uso agrícola inadequado dos solos, é uma das maiores ameaças à qualidade da água superficial e subterrânea em bacias hidrográficas e é causada principalmente pela substituição da cobertura original do solo por culturas agrícolas sem práticas sustentáveis de manejo.

Na busca de suprimento frente ao aumento da necessidade de alimento para uma população que cresce a taxas cada vez mais aceleradas, a agricultura irrigada constitui em um elemento-chave em qualquer estratégia para o aumento da produção local. A irrigação artificial de culturas agrícolas é aplicada para suprir as deficiências pluviais, proporcionando teor de umidade no solo suficiente para o crescimento das plantas. O uso de tecnologia de irrigação, juntamente com a introdução de espécies de alto rendimento, a utilização de fertilizantes e agrotóxicos têm permitido um grande rendimento das culturas. De acordo com a UNESCO (2012), estima-se que a demanda mundial por alimentos cresça cerca de 70% até 2050.

A irrigação trata-se de um sistema reconhecido pelo aumento da produtividade por hectare plantado, mas igualmente reconhecido pelo uso intensivo de água e desperdício, sendo confrontado com os desafios do desenvolvimento e proteção dos

recursos hídricos. A irrigação na agricultura consome por volta de 70% do uso de água dos rios, lagos e aquíferos, razão pela qual seu potencial desperdício é um dos mais graves e qualquer política ou trabalho relacionado ao manejo dos recursos hídricos deve considerá-la como um componente fundamental. Desta forma, destaca-se a importância da agricultura irrigada consciente e racional visando o uso eficiente do recurso hídrico utilizado e o cuidado na utilização de agroquímicos associados ao processo produtivo (ANA, 2012).

A intensificação da produção agrícola gera o aumento do uso dos recursos naturais e agrava muito dos processos de degradação da terra (UNEP, 2000). De acordo com Campos (2001), o acréscimo da demanda por água reflete no declínio de sua qualidade e quantidade, muito pelo seu alto consumo, mas também pelo aumento do uso de insumos agrícolas, acarretando em esgotamento das reservas hídricas podendo surgir, conseqüentemente, conflitos de interesses entre seus usuários.

A água é um recurso limitado e de valor econômico, ainda mais num país fundamentalmente agrícola, como o Brasil. A escassez pode ocorrer, tanto por condições climáticas/ hidrológicas e hidrogeológicas, como por demanda excessiva. Sua importância não se restringe apenas à sobrevivência humana, mas principalmente para o desenvolvimento de todas as atividades produtivas, devendo para tanto, serem assegurados seus usos múltiplos: agropecuária (principalmente irrigação), geração de energia elétrica, produção industrial, diluição de efluentes domésticos e industriais, transporte fluvial e por último, mas não menos importante, a manutenção das condições ecológicas e ambientais (ABAS, 2005).

Quando não existe atendimento às demandas por água em termos qualitativos e quantitativos, e há insuficiência na manutenção das condições ambientais mínimas que garanta a sustentabilidade, tem-se a escassez hídrica. Em virtude de uma grande demanda, como é o caso de campos irrigados, as atividades de outros usuários de água em uma bacia hidrográfica se tornam competitivas e se acirram à medida que diminui a disponibilidade hídrica per capita. Um tipo de uso pode impossibilitar outro na medida em que se consuma a água de forma não otimizada, fazendo com que não haja disponibilidade suficiente para todas as atividades.

Além de impactar a atividade de outros usuários, o estresse hídrico surge também como um fator limitante para o seu próprio desenvolvimento agrícola

irrigado. A falta de abastecimento de água promove a ineficiência nas atividades de irrigação, causando em perdas de produção e impedimento de crescimento econômico.

A ausência de chuva é apenas um ingrediente da escassez. Há também a exploração sem controle das águas subterrâneas que abastecem o rio e sua rede de afluentes; os desflorestamentos (em particular, a derrubada das matas ciliares, que causa o assoreamento dos cursos de água, piorando a situação) e o desperdício. Escassez e estresse hídrico significam menos água do que o necessário e, também, que parte da água com que se pode contar hoje encontra-se em estado incompatível com o uso e o consumo humano. Assim, as crescentes demandas por água para diversos fins pela sociedade constituem um desafio para o planejamento de recursos hídricos, seja no aspecto de sua disponibilidade, seja pela qualidade da água.

A crise é consequência em primeiro lugar da contaminação e depois da exploração insustentável e do esbanjamento do uso inconsciente da água, ainda visto como um elemento inesgotável frente à abundância deste recurso no Brasil, porém distribuída de forma irregular no território. É precisamente a abundância que gera uma mentalidade de esbanjamento e de falta de cuidado, com consequências que a população começa a sentir, visto a última estiagem que afetou o Estado de São Paulo neste ano.

A água distribui-se de modo irregular, no tempo e espaço, em função das condições geográficas, climáticas e meteorológicas. Embora a vazão média de longo período sirva para a estimativa do potencial hídrico de uma bacia hidrográfica, as variações sazonais e multianuais são bastante significativas, de modo que o potencial economicamente explorável pode ser bem menor, tão menor quanto mais variável for o regime hidrológico. (BARTH e POMPEU, 1987). Desta forma, é imprescindível o planejamento em tempos de abundância para os tempos de escassez.

Assim, é necessário que a expansão agrícola, para atender à demanda da população global por alimentos nos próximos séculos, seja orientada no sentido de se buscarem medidas conservacionistas deste recurso. A gestão com responsabilidade do uso da terra e atividades agrícolas conscientes contribuirá fortemente para a segurança dos recursos hídricos e da economia no futuro, já que sem água não se prospera nenhuma atividade econômica. O uso adequado da terra é o primeiro passo em direção ao desenvolvimento econômico sustentável das atividades agrícolas e segurança hídrica. Para

isso, deve-se empregar cada parcela de terra de acordo com a sua aptidão, capacidade de sustentação e produtividade econômica, de tal forma que os recursos naturais sejam colocados à disposição do homem para seu melhor uso e benefício e preservados para gerações futuras (LEPSCH et al, 1991).

Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008) acentuam a necessidade de estudos para a formação de uma base de dados consolidada e transformada em instrumento de gestão. Esta pode ser uma das formas mais eficazes de enfrentar o problema de escassez e estresse de água e deterioração de sua qualidade.

### **3.4. As Áreas de Preservação Permanente**

As faixas que margeiam os cursos d'água, ditas como vegetação ripária ou matas ciliares, são áreas de saturação hídrica de uma bacia situadas principalmente ao longo das margens e nas cabeceiras de redes de drenagem. Essa vegetação exerce importante função hidrológica e ecológica, contribuindo assim para a manutenção da saúde ambiental dos recursos hídricos e resiliência da bacia hidrográfica (WALKER et al, 1996; LIMA e ZAKIA, 2000; ALLAN et al, 2008; BISHOP et al, 2008; BURKHARD et al, 2010; PERT et al, 2010).

Essas áreas são asseguradas por lei, definidas como Área de Preservação Permanente (APP) que são “áreas cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas”. Quando bem preservadas, as APPs contribuem com importantes funções hidrológicas, geomorfológicas, ecológicas e sociais, sendo consideradas como áreas de elevado interesse socioambiental. Segundo Anselmo (2014), podemos destacar as seguintes funções:

- Estabilização das ribanceiras do rio;
- Estabilização térmica dos cursos d'água;
- Diminuição e filtragem do escoamento superficial;
- Aumento da capacidade de recarga do lençol freático;

- Impedimento da contaminação da água por resíduos agrícolas tóxicos;
- Formação de ambientes adequados ao desenvolvimento da fauna aquática e terrestre;
- Preservação de espécies vegetais e animais raros ou em risco de extinção;
- Corredor ecológico;
- Sequestro de carbono.

A grande variedade de funções relativas às APPs marginais ocorre principalmente devido a sua heterogeneidade ambiental e por sua localização, sendo considerada uma região de ecótono, correspondendo a uma área de transição entre o ambiente terrestre e o aquático, apresentando alta biodiversidade e consideradas entre as mais produtivas do mundo, segundo Kark et al (2006) e Junk (1989).

De acordo com Gottle e Sene (1997), as florestas possuem funções ambientais de proteção aos recursos hídricos e ao solo, conservação do habitat natural e da diversidade biológica, além da influência sobre o microclima local e redução dos impactos das emissões de gases e função social de lazer e turismo. Lima (2008) diz que a cobertura vegetal natural representa um dos fatores mais importantes que afetam a produção de água em microbacias através de sua influência sobre processos hidrológicos tais como interceptação, transpiração, infiltração, percolação etc. Destaca ainda que as matas ciliares ou zonas ripárias desempenham sua função hidrológica através dos seguintes processos principais: geração do escoamento direto em bacias, quantidade de água, qualidade da água, ciclagem de nutrientes e interação direta com o ecossistema aquático (LIMA, 1989).

Assim, áreas de florestas, incluindo a vegetação natural ripária, afetam a saúde dos recursos hídricos por meio de sua influência na ocorrência precipitações bem como importância em sua relação com as águas subterrâneas através de processos de infiltração de água no subsolo. A destruição da mata ciliar pode, a médio e longo prazos, pela degradação da zona ripária, diminuir a capacidade de armazenamento da bacia com conseqüentemente interferência na vazão em períodos de seca (ELMORE e BESCHTA, 1987). Além da influência na produção e armazenamento de água na bacia, a vegetação que margeia os cursos d'água também influenciam na qualidade da água. Bertoni e

Lombardi Neto (2005) defendem que a cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão que podem acarretar em assoreamento, eutrofização e contaminação dos corpos d'água.

O solo sem cobertura florestal proporciona grande redução em sua capacidade de retenção da água da chuva (SOUZA JUNIOR, 2005) e, ao invés de se infiltrar, a água precipitada escoar sob a superfície provocando enxurradas e diminuindo a capacidade de adequado abastecimento do lençol freático, diminuindo a água armazenada em subsolo e de abastecimento aos recursos hídricos superficiais.

No entanto, essas áreas de preservação despertam interesses conflitantes a serem vistas pelos agricultores como potencial produtivo (MATSON et al, 1997). Em contrapartida, sua preservação e restauração, que visam a proteção de suas funções hidrológicas e ecológicas, sobressaem-se como etapa essencial na busca da sustentabilidade em detrimento à produção (LIMA e ZAKIA, 2000).

A expansão das fronteiras agrícolas sem o devido planejamento é considerada a principal atividade antrópica que altera o uso do solo com o conseqüente desflorestamento de áreas de importância ambiental. Na necessidade crescente de produzir alimentos em quantidades cada vez maiores promove a derrubada de importantes áreas de florestas para implantação de empreendimentos agropecuários, sem que para isso haja qualquer planejamento que considere áreas importantes para a manutenção da saúde dos ecossistemas (CORREA, 2006).

Skorupa (2003), ao avaliar a significância das APPs como elementos físicos do agroecossistema e sua relação aos serviços ecológicos prestados por essas áreas, descreve a importância das APPs para uma produção sustentável e economicamente viável a longo prazo no campo, associando a essas unidades de preservação a uma produção agrícola saudável, a qualidade ambiental e o bem-estar das populações atuais e futuras. Dentre as funções fundamentais que as APPs assumem no meio rural, destacam-se:

- Nas margens de cursos d'água ou reservatórios: garantindo a estabilização de suas margens e evitando que o seu solo seja carregado diretamente para o leito dos rios, atuando dessa forma como um filtro;
- Nas áreas de nascentes: atuando como um amortecedor das chuvas, evitando o seu impacto direto sobre o solo e conseqüente compactação;



- Como esconderijo e proteção para os inimigos naturais de pragas;
- Fornecimento de refúgio e alimento
- Controle de pragas do solo;
- Reciclagem de nutrientes, entre outros.

De acordo com a legislação florestal vigente, a Lei no 12.651/2012 que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências, considera como APP as florestas e demais formas de vegetação natural situadas em “faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular”:

- de 30 m (trinta metros) para os cursos de d’água de menos de 10(dez) metros de largura;
- de 50 m (cinquenta metros) para os cursos d’água que tenham de 10 (dez) a 50 m (cinquenta metros) de largura;
- de 100 m (cem metros) para os cursos d’água que tenham de 50 (cinquenta) a 200m (duzentos metros) de largura;
- de 200 m (duzentos metros) para os cursos d’água que tenham de 200 (duzentos) a 600 m (seiscentos metros) de largura;
- de 500 m (quinhentos metros) para os cursos d’água que tenham largura superior a 600 m (seiscentos metros) de largura.

Com relação às nascentes e olhos d’água, a referida lei define APP somente as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d’água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros. Não é exigida APP no entorno de reservatórios artificiais de água que não decorram de barramento ou represamento de cursos d’água naturais, e quando eles ocorrerem, a fixa de preservação será avaliada conforme o licenciamento ambiental do empreendimento. Dispensa-se o estabelecimento de faixas de APP no entorno das acumulações naturais ou artificiais de água com superfície inferior a um hectare, vedada nova supressão de áreas de vegetação nativa.

Essas regras são válidas exceto para as áreas consideradas consolidadas. O conceito de Área Rural Consolidada é atribuído à área de imóvel rural com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou

atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio. Assim, em Área Rural Consolidada, a Lei prevê a recomposição escalonada da vegetação nativa estabelecendo o tamanho da propriedade, com base no módulo fiscal, como critério para a determinação das faixas de recomposição.

As APPs são fator essencial para a resiliência da bacia e os riscos ambientais com a degradação dos recursos naturais dessas áreas podem se torna deficiente se não ocorrer a adoção de estratégias de manutenção da integridade do ecossistema ripário (ANSELMO, 2014).

### **3.5. Sistemas de Informações Geográficas e Geoprocessamento**

Como é crescente a necessidade de representação do espaço geográfico e de seus fenômenos, ocorrem avanços tecnológicos como: a cartografia digital, o sensoriamento remoto e o geoprocessamento. Esses instrumentos possibilitam a sistematização e análise do conhecimento geográfico para aprimorar pesquisas relacionadas à temática ambiental (ANSELMO, 2014). Tais tecnologias permitem a caracterização de diferentes tipos de usos dos solos e dos recursos hídricos, entre outros padrões de paisagem, de diferentes formas espaciais e temporais (VALENTE, 2005).

Mudanças ambientais ocorridas em uma região somente podem ser analisadas de forma ampla com a utilização de imagens de satélites, através do sensoriamento remoto. Este recurso, juntamente com o geoprocessamento, permitem a aquisição, armazenamento e manipulação de informações de forma rápida e eficiente, proporcionando a eficiente tomada de decisões, por possibilitar o estudo do espaço ao longo do tempo que permitem a redução de impactos ambientais (RODRIGUEZ, 2005).

O geoprocessamento, de acordo com Fitz (2008), é uma tecnologia que possibilita manipular, analisar, simular e visualizar dados georreferenciados. Define ainda que Sistema de Informações Geográficas (SIG) corresponde a um conjunto de programas computacionais que integra dados, equipamentos e pessoas objetivando a coleta, o armazenamento, manipulação, visualização e análise de dados referenciados espacialmente a um sistema de coordenadas conhecido. Desta forma, o SIG torna-se uma

poderosa ferramenta que permite maior rapidez e precisão em análises, gerando uma dinâmica positiva em monitoramentos de uso de solo e de áreas protegidas.

A análise multitemporal de imagens permite acompanhar as transformações do espaço ao longo do tempo sendo essencial em procedimentos de fiscalização e cumprimento das leis ambientais (FLORENZANO, 2011). Esse recurso se torna essencial para acompanhar a transformação do ambiente pela ação do homem que ocupa cada vez mais áreas de superfície terrestre por meio de apropriação e derrubada das matas; implantação de sistemas cultivares e pastagens; construção de vias de locomoção; de represamento e transporte de água; implantação de indústrias e expansão de áreas urbanas.

Segundo Borges (2008), o geoprocessamento e suas ferramentas se aproximam ao máximo da realidade de campo, podendo ser considerado um recurso imprescindível e essencial para a gestão eficiente, gerenciando análises de dinâmica da paisagem e conflitos de uso dos recursos naturais em uma bacia hidrográfica. Melhores informações espaciais e mapas contribuem para um melhor planejamento e tomada de decisão em todos os níveis e escalas, gerando a harmonia entre produção e conservação de uma paisagem.

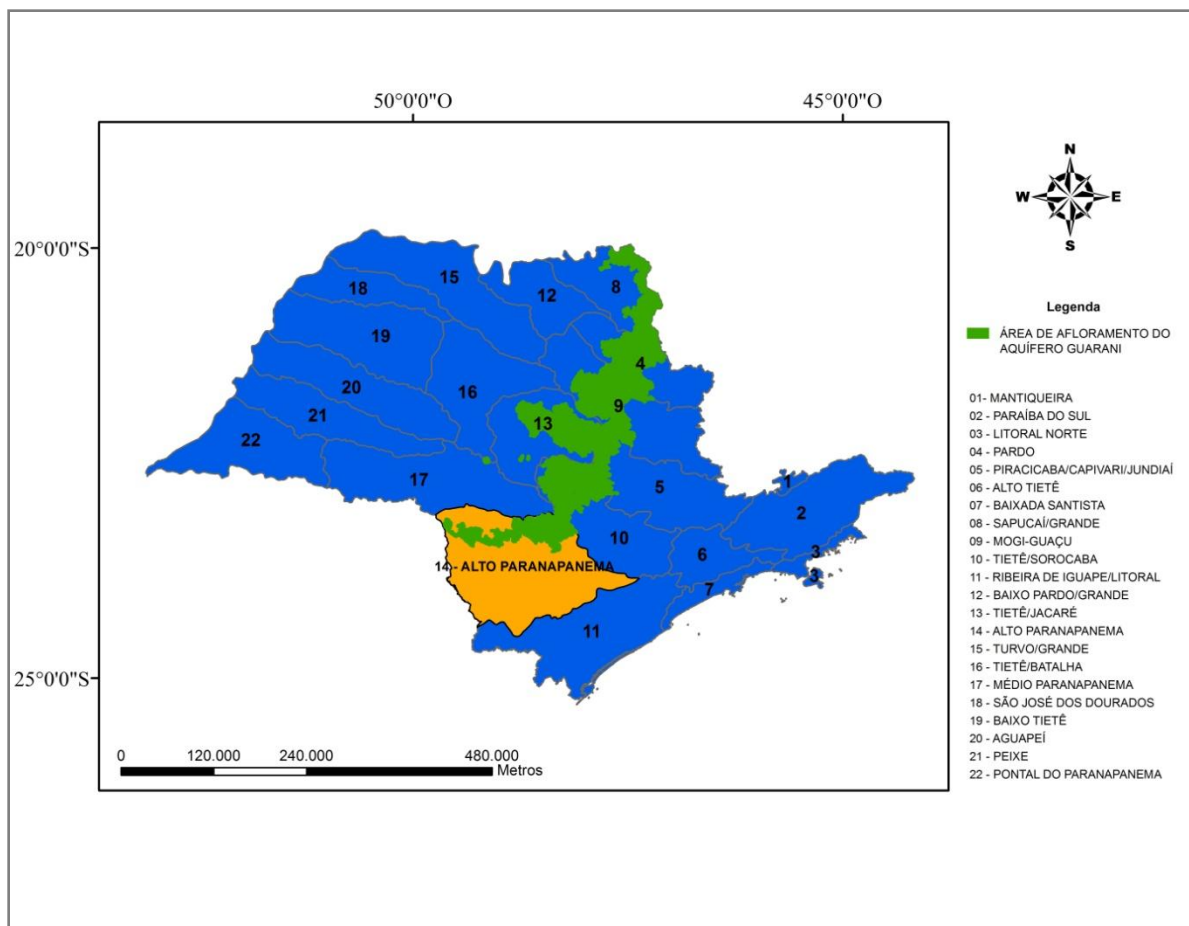
## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Área de Estudo**

#### **4.1.1. A Bacia do Alto Paranapanema**

De acordo com a atual estrutura de gestão de recursos hídricos do Estado de São Paulo, a Represa Jurumirim e seus respectivos afluentes, entre eles o Ribeirão do Jacú, pertencem à Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema (ALPA), definida como Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos 14 (UGRHI-14). Ela é considerada a maior unidade hidrográfica do estado, com predomínio da atividade agrícola e uma das mais elevadas demandas de água para a irrigação.

A bacia hidrográfica do Alto Paranapanema localiza-se na região sudoeste do Estado de São Paulo e limita-se ao Norte com a UGRHI-17 (Médio Paranapanema), ao Sul com a UGRHI-11 (Ribeira de Iguape e Litoral Sul), a Leste com a UGRHI-10 (Tietê/Sorocaba) e a Oeste com a região Nordeste do Estado do Paraná (Figura 1).



**Figura 1.** Localização da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema (UGRHI-14) e da Área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Estado de São Paulo.

De acordo com o site do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema, a Bacia do Alto Paranapanema compreende uma área de 22.738 km<sup>2</sup> e agrega uma rede de cidades médias e pequenas, predominando igualmente municípios que possuem até 10 mil habitantes e aqueles que situam suas populações entre 10 mil e 20 mil habitantes.

A população atual da bacia é estimada em 762.478 habitantes, representando aproximadamente 1,8% da população total do Estado de São Paulo (41.692.668 de habitantes). Para o ano de 2020, avalia-se que a população dos municípios integrantes da Bacia atinja 861.459 habitantes, ou seja, um incremento de 13% (FUNDAÇÃO SEADE, 2012).

Os municípios pertencentes à UGRHI-14 são: Angatuba, Arandu, Barão de Antonina, Bernardino de Campos, Bom Sucesso de Itararé, Buri, Campina do

Monte Alegre, Capão Bonito, Cerqueira Cesar, Coronel Macedo, Fartura, Guapiara, Guareí, Ipaussu, Itaberá, Itaí, Itapetininga, Itapeva, Itaporanga, Itararé, Itatinga, Manduri, Nova Campina, Paranapanema, Pilar do Sul, Piraju, Ribeirão Branco, Ribeirão Grande, Riversul, São Miguel Arcanjo, Sarutaiá, Taguaí, Taquarituba, Taquarivaí, Tapiraí, Tejupá, Timburi

A UGRHI-14 detém grande abundância de águas pluviais, fluviais e subterrâneas. De acordo com o Relatório de Situação dos Recursos Hídricos 2013, a UGRHI conta com uma área de drenagem de 22.689 km<sup>2</sup> e todos os cursos d'água nesta unidade são tributários do rio Paranapanema, que apresenta extensão de 530 km percorridos dentro dos limites da bacia. Seus principais afluentes são: i) da margem direita: rios Santo Inácio, Jacu, Guareí, Itapetininga e Turvo; ii) da margem esquerda: rios Itararé, Taquari, Apiaí-Açu, Paranapitanga e das Almas). O Rio Itararé faz divisa com o Estado do Paraná, onde se localizam os principais afluentes da margem esquerda. Já os principais reservatórios são a Usina Armando A. Laydner (Jurumirim), Usina Chavantes, Usina Paranapanema e Usinas Pilar com volume total reservado de aproximadamente 16.000.000.000 m<sup>3</sup> de água.

Ainda de acordo com o Relatório, apesar da boa disponibilidade hídrica dos recursos hídricos, existem algumas bacias com indícios de criticidade, como a Bacia do Ribeirão dos Carrapatos, do Ribeirão das Posses e a Bacia do Ribeirão Santa Helena, que permeiam os municípios de Paranapanema, Itaí, Itapeva, Taquarituba, Taquarivaí e Itaberá, onde ocorre alta demanda de água para as atividades agrícolas da UGRHI.

A condição hidrogeológica da UGRHI-14 é determinada pela presença de importantes aquíferos de extensão regional e local. Os sistemas aquíferos desta região com suas áreas aflorantes são: Coberturas Cenozóicas (1%); Bauru (1%); Serra Geral (10%); Botucatu/Pirambóia (10%); Diabásico (2%); Passa Dois (12%); Tubarão (43%); Furnas (3%) e Cristalino (18%) (<http://www.comitepcj.sp.gov.br>). De acordo com o Plano CBH-ALPA de 2011, a porção do Aquífero Guarani presente na Bacia do Alto Paranapanema, encontra-se em forma confinada.

O tipo climático da UGRHI-14 pode ser classificado como tropical úmido com ligeira variação entre as regiões mais ao interior e a Serra de Paranapiacaba. A pluviosidade média é de 1.200 mm/ano e o período mais chuvoso é de setembro a março, sendo o mês de maior pluviosidade o mês de janeiro seguido pelos meses de fevereiro e

março. A chuva pode ultrapassar os 40 mm no período de abril a agosto, sendo em agosto o mês mais seco, de acordo com o Comitê da bacia hidrográfica rio Paranapanema.

Quanto à geologia local observa-se a ocorrência de rochas epimetamórficas constituídas por metassedimentos argilosos, arenosos e carbonáticos pertencentes ao grupo Açungui (Complexo Pilar). No restante da bacia, em grandes proporções, imperam as rochas sedimentares e vulcânicas básicas constituintes da Bacia do Paraná. (CBH-ALPA, 1999).

Quatro classes de solo ocorrem na unidade, sendo essas: solos com horizonte B textural (Argissolos – 25%), solos com horizonte B latossólico (Latosolos e Nitossolos – 58%), solos de várzea (Hidromórficos de várias classes – 1%) e solos pouco desenvolvidos (Neossolos – 16%), segundo site do CBH-PARANAPANEMA.

A Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema ocupa uma área onde são encontradas duas unidades morfoestruturais do Alto Paranapanema, ocupando uma área onde são encontradas duas unidades morfoestruturais distintas: o Cinturão Orogênico do Atlântico ao Leste, contendo o Planalto Atlântico (Planalto de Guapira); e Bacia Sedimentar do Paraná, sendo esta dividida em Depressão Periférica Paulista (Depressão do Paranapanema) e Planalto Ocidental Paulista (Planalto Centro Ocidental e Planalto Residual de Botucatu), com predominância de formas denudacionais, representadas pelos morros baixos com topos convexos (Dc), com altitudes variando entre 700 e 800 metros e declividades entre 20 e 30%. Na faixa de contato de rochas metamorfizadas com as unidades da bacia Sedimentar (a sudeste da cidade de Itararé), são encontradas escarpas estruturais associadas a falhamentos regionais, como também escarpas erosivas, que se desenvolvem no mesmo alinhamento. Em relação à hidrografia, essa unidade se caracteriza por um padrão de drenagem dendrítica, gerando potencial nível de fragilidade a fortes atividades erosivas. Em uma pequena faixa, no limite superior da área, que entra em contato com a Depressão Periférica, no chamado Planalto Residual de Botucatu, se caracteriza pela presença de cuestras, recortando o pacote basalto-arenítico, com alinhamento das escarpas erosivas no sentido E-W. Na Depressão Periférica Paulista, representada na área de estudo pela unidade morfológica Depressão Paranapanema, apresenta formas de dissecação média, com vales entalhados e densidade de drenagem média a alta, que em terrenos arenosos, principalmente

oriundos das formações Pirambóia e Botucatu, torna a área vulnerável a fortes atividades erosivas.

De acordo com o Relatório de Situação dos Recursos Hídricos 2013, a cobertura vegetal presente na UGRHI apresenta 4.677 km<sup>2</sup> de vegetação natural remanescente que ocupa, aproximadamente, 20% de sua área total. As categorias de maior ocorrência são Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Mista. Compreende ainda fragmentos de mata, capoeira, campo, cerradão, cerrado e tipos intermediários, além de vegetação de várzeas, áreas de reflorestamento, culturas perenes e temporárias e grandes áreas de pastagens. As áreas de pastagem estão sendo substituídas por reflorestamento e cultura da cana de açúcar.

Cerca de 15% de sua área é protegida por legislação especial, a bacia abriga quatro Estações Ecológicas com florestas estacionais semidecíduas e formações de cerrado, importantes locais de abrigo e alimentação da fauna silvestre, segundo site do Comitê PCJ. Possui ainda importante área de mata atlântica protegida pelo Parque Estadual Intervales e pelo Parque Estadual de Carlos Botelho. Na região, destaca-se a Área de Proteção Ambiental Corumbataí-Botucatu-Tejupá que está parcialmente localizada na Bacia do Alto Paranapanema e envolve 12 diferentes municípios. O perímetro de Tejupá abrange os municípios de Tejupá, Timburi, Fartura, Piraju, Taguaí, Taquarituba, Barão de Antonina e Coronel Macedo, totalizando 158.258 ha. Abriga significativos remanescentes da vegetação de cerrado e da fauna nativa, além de matas ciliares e pequenos fragmentos da mata mesófila.

De acordo com o CBH-ALPA (2011), a Bacia do Alto Paranapanema produz 32 (trinta e dois) dos 42 (quarenta e dois) produtos agrosilvopastoris relacionados na estatística sobre agropecuária e produção florestal. Além disso, o relatório observa que, dentre os dez principais municípios geradores de toda a riqueza produzida no território paulista na agropecuária, sete são da Bacia do ALPA, o que demonstra alta vocação e grande desenvolvimento agrícola da região.

Em função dos aspectos sócio-econômicos e da grande expansão agrícola ocorrida ao longo dos últimos anos, em virtude das favoráveis condições climáticas, pedológicas e da abundância de água, tem se perdido grande diversidade biológica na região.



Assim, a escolha desta bacia como região de estudo justifica-se pelos seguintes itens:

- É considerada a maior UGRHI do Estado de São Paulo;
- Possui grande potencial hídrico e agrícola, com capacidade de intensificação de produção;
- A atividade agrícola é a grande vocação desta região o que pode gerar conflitos no uso da terra em detrimento à conservação do solo e recursos hídricos;
- Apresenta uma faixa extensa de afloramento de aquífero, consideradas como áreas vulneráveis;
- É considerada uma região de conservação por possuir importante acervo ambiental preservado.

Além disso, de acordo com o Plano de Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema 2012-2015 aprovado pelo Comitê CBH-ALPA, foram relatados 62 (sessenta e dois) conflitos mais preocupantes aos membros do Comitê de Bacia do ALPA, dentre eles:

- Problemas provenientes da agricultura e pecuária em larga escala: o uso intensivo e não planejado do solo para a produção agrária ou animal geram constantes de conflitos com os a conservação dos recursos naturais, agravando-se com o avanço da monocultura. O manejo inadequado do solo, seja pelo pisoteio animal que gera a sua compactação ou então pela falta de recursos técnicos de conservação do solo pela agricultura que acarretam em erosão e assoreamento dos corpos d'água, comprometem os recursos hídricos. O uso indiscriminado de agrotóxicos e da água também causam grande impacto na qualidade e quantidade da dos corpos d'águas.

- Diminuição da vegetação nativa: em especial as Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal, com ineficiência de fiscalização dos órgãos competentes em relação à legislação vigente, o que culmina em processos de desmatamento desordenado, sem autorização ou critérios técnicos;

- Problemas sanitários: coleta e tratamento de esgotos insuficientes e inadequados, além da disposição inadequada de resíduos sólidos, dentre eles, o descarte de embalagens de agrotóxicos.

- Gerenciamento inadequado dos recursos hídricos: abertura clandestina de poços sem outorga, o que pode comprometer a disponibilidade hídrica da

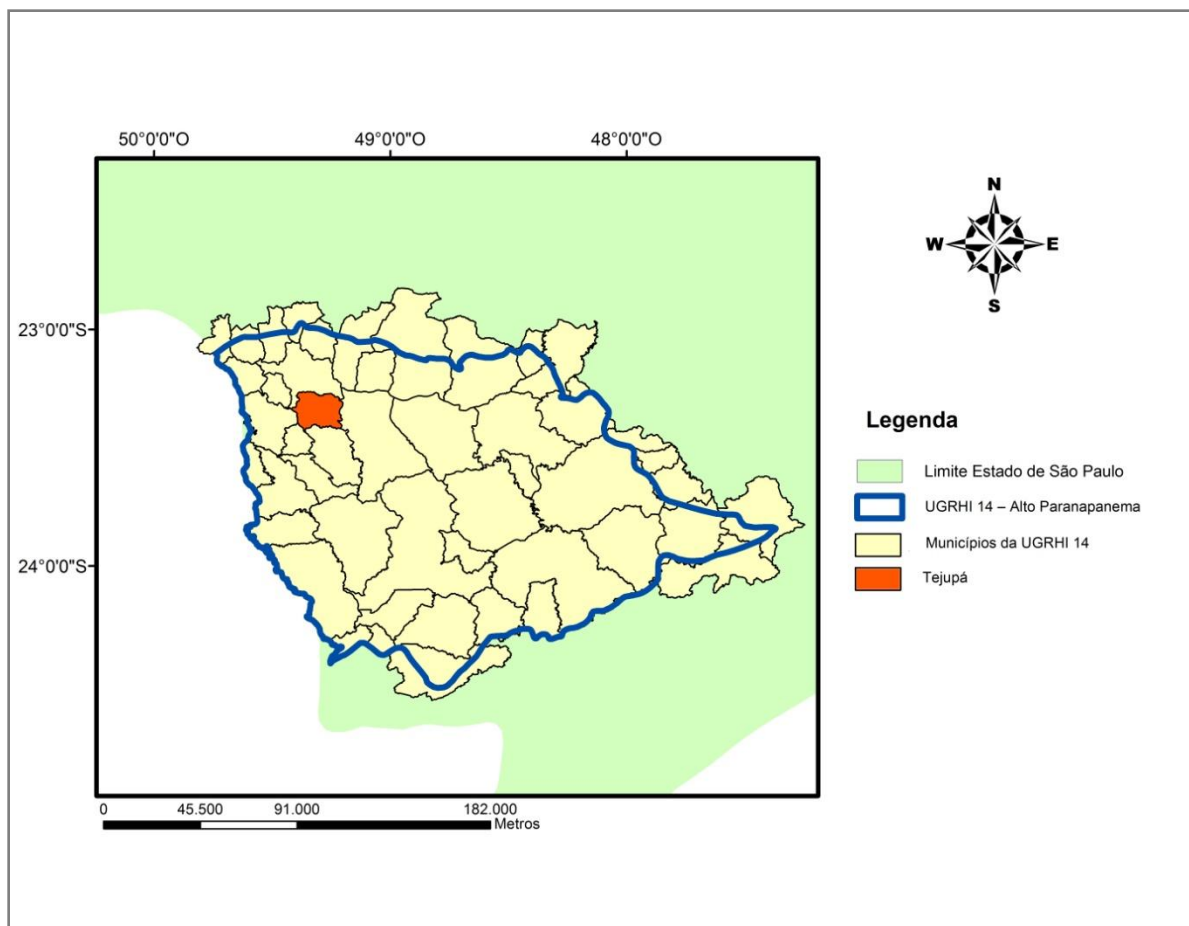
região; construção excessiva de Pequenas Centrais Hidrelétricas e Usinas Hidrelétricas; necessidade de barramentos para a regularização da vazão destinadas às áreas irrigadas, devido à possibilidade de falta de água em detrimento à criticidade de algumas sub-bacias agrárias.

- Problemas com a gestão e disseminação de informações: baixos incentivos e políticas públicas voltadas à recuperação e conservação ambiental; baixa conscientização e conhecimentos sobre a importância da Bacia e sua preservação pela população residente; pouco conhecimento sobre o uso da terra e o adequamento às aptidões locais; falta de manejo e tecnologia para o uso apropriado do solo; falta de zoneamento agroecológico.

#### **4.1.2. A Bacia do Ribeirão do Jacú**

A área de estudo deste projeto compreende a Bacia do Ribeirão do Jacú, afluente à margem esquerda do Rio Paranapanema à jusante da Represa Jurumirim. A bacia está localizada no município de Tejuapá, região sudoeste do Estado de São Paulo e está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 14 (UGHRI-14), correspondente à Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema (Figura 2).

O município de Tejuapá compõe uma área de 296,34 km<sup>2</sup> desta bacia (FUNDAÇÃO SEADE, 2012) e está localizado na latitude 23°20'34" Sul e na longitude 49°22'35" Oeste, a uma altitude de 765 metros. Limita-se com os Municípios de Itai, Taquarituba, Sarutaiá, Taguaí, Piraju e Fartura.



**Figura 2.** Localização do município de Tejuπά na UGRH14.

#### 4.1.2.1. Contexto Histórico e Situação Socioeconômica

De acordo com a Prefeitura do Município de Tejuπά, pouco se tem notícia do início da formação da cidade. No entanto, as primeiras notícias remontam ao fim do século XIX, por volta de 1868, com a criação do povoado de Nossa Senhora do Patrocínio.

A cidade que hoje dá-se o nome de Tejuπά, teve o início de sua existência em 06 de Junho de 1889, quando este povoado foi elevado e passou a se denominar Pedra Branca. O distrito foi criado em 6 de junho de 1899, no Município de Pirajú, com o nome de Belo Monte em virtude da beleza dos montes que circundavam sua sede. Nesta época, não havia êxodo rural e a maioria da população era de lavradores que

habitavam a zona rural, que contava com uma população de 3.267 habitantes na área rural e 313 habitantes em sua área urbana.

Em 30 de novembro de 1944 o distrito foi nomeado como Tejupá, tornando-se município autônomo em 28 de fevereiro de 1964. Tejupá, do tupi tejupaba, significa rancharia ou choupana de abrigo durante as viagens, batizado assim pela existência de choças de índios que habitavam os montes na época.

Localizada a 331 quilômetros da capital paulista, Tejupá é um município de vocação agrícola, com predomínio da cultura de café. Dos 36 municípios da UGRHI-14, Tejupá ocupa o terceiro lugar em produção deste item, ficando atrás apenas dos municípios de Pirajú e Fartura. A produção cafeeira de Tejupá já foi eleita a melhor do Estado de São Paulo, com o reconhecimento de sua qualidade em todo o País. Na cidade, há um monumento de um bule gigante que homenageia os produtores locais e a Festa do Melhor Café do Brasil.

De acordo com o Plano de Bacia do ALPA 2012-2015 (CBH-ALPA, 2011), a participação da agropecuária na economia local de Tejupá é de 25,82%. Na região, ocorrem também lavouras de milho, soja, feijão, arroz sequeiro e banana, para subsistência e venda de excedente. É comum o cultivo de pequenas hortas, principalmente de pepino e pimentão. Também observa-se cada vez mais, áreas de cultivo de cana-de-açúcar nesta região. As pastagens ocupam extensas áreas, bem como os plantios de eucalipto e de pinus. Na pecuária, destacam-se os rebanhos de gado leiteiro, com produção destinada para o consumo próprio e vendas nos laticínios locais e, nas grandes fazendas, pecuária de corte, com criação de gado Nelore, segundo o site do Centro de Estudos e Pesquisas de Administração Municipal (CEPAM).

A Represa Jurumirim, que banha o município, é a principal atração turística, juntamente com as cachoeiras da região, proporcionando lazer e pescaria para a população local e visitantes. Como paisagem, destacam-se o Morro da Tristeza e o Morro do Chapéu.

Tejupá conta hoje com uma população de 4.828 habitantes (IBGE, 2013a), com densidade demográfica de 16,08 hab/ km<sup>2</sup> e grau de urbanização de 64, 89%. A longevidade do município é de 62 anos, a taxa de analfabetismo é de 17,71% e o PIB (Produto Interno Bruto) per capita é de 9.624,56 reais (CBH-ALPA, 2011).

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), que mede o grau de desenvolvimento de uma sociedade adicionando ao tradicional indicador de renda per capita (IDH), um indicador de longevidade e outro de educação, é de 0,704. Este índice situa entre 0 (zero) e 1 (um), e os valores mais altos indicam níveis superiores de desenvolvimento humano.

De acordo com a Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo o Índice Paulista de Responsabilidade Social (IPRS) de 2012 foi de 4, o que indica um município com baixos níveis de riqueza e com deficiência em um dos indicadores, longevidade ou escolaridade. Os indicadores de riqueza e longevidade estão abaixo da média estadual; já o escore de escolaridade está acima da média.

Mesmo com o evidente desenvolvimento rural de Tejupá, a maioria da população vive em áreas urbanas. Diante disso, é fundamental a estruturação de um sistema de planejamento e a elaboração de leis e instrumentos que tenham por finalidade ordenar e controlar adequadamente o uso da terra no município. No entanto, Tejupá ainda é carente de instrumentos jurídicos e urbanísticos voltados às questões ambientais. O município ainda não dispõe de Plano Diretor, nem Plano de Micro Drenagem, contando apenas com um Plano de Macro Drenagem (CBH-ALPA, 2011). Isso indica que ainda há uma grande necessidade de estruturação do município para questões relativas ao planejamento que afetam o meio ambiente e recursos hídricos. Um exemplo disso é a falta de cuidados especiais quanto ao tratamento de efluentes de Tejupá, já que atualmente o esgoto bruto é lançado diretamente no Córrego Pedra Branca.

#### **4.1.2.2. Clima e Vegetação**

Os fenômenos climáticos estão diretamente relacionados, através dos ciclos hidrogeológicos, com a qualidade e quantidade da água dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, com consequentes efeitos sobre os setores econômicos e desenvolvimento sustentável, como a produção de alimentos, geração de energia e proteção natural dos ecossistemas.

De acordo com a classificação de Köppen (1923), o clima predominante na Bacia do Ribeirão do Jacú é do tipo Cwa, caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno. Segundo o site do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI), o município onde a bacia está inserida é caracterizado por apresentar temperatura média anual de 20,1°C, oscilando entre mínima média de 13,9°C e máxima média de 26,3°C. A precipitação média anual é de 1453,8 mm.

Segundo o Mapa Florestal dos Municípios do Estado de São Paulo (disponível *online*) pelo Inventário Florestal do Estado de São Paulo, 13,02% da área total do município de Tejuapá é coberta por vegetação natural e áreas de reflorestamento. Nas áreas de vegetação natural, as matas ocupam 7,59% (2.177,58 ha) do território, o cerrado 2,75% (788,08 ha), capoeira 1,78% (510,05 ha), vegetação de várzea 0,47% (134,14 ha) e cerradão 0,45% (127,91 ha). O reflorestamento compreende uma área de 268,40 ha, representando 0,94% do município.

Tejuapá também abriga uma parcela da Área de Proteção Ambiental (APA) Botucatu-Corumbataí-Tejuapá. Conforme o Sistema Ambiental Paulista, a APA, Perímetro Tejuapá, fitogeograficamente está inserida no domínio da Mata Atlântica com significativos fragmentos de Cerrado *stricto sensu*. Dentre as fisionomias do domínio da Mata Atlântica são encontrados fragmentos de Floresta Estacional Decidual e Semidecidual, Florestas Paludosas e Ripárias.

É importante ressaltar que, por estar inserida em uma área de transição entre o bioma Mata Atlântica e Cerrado, destacando-se como um ecótono, a região possui grande riqueza e diversidade biológica.

#### **4.1.2.3. Geologia, Geomorfologia e Pedologia**

Além do clima, as características geofísicas e biológicas de uma bacia afetam diretamente na qualidade e quantidade da água dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Assim, compreender as características geológicas,

geomorfológicas e pedológicas, associadas com o uso da terra local, é fundamental para estudos ambientais que visam à conservação dos recursos hídricos.

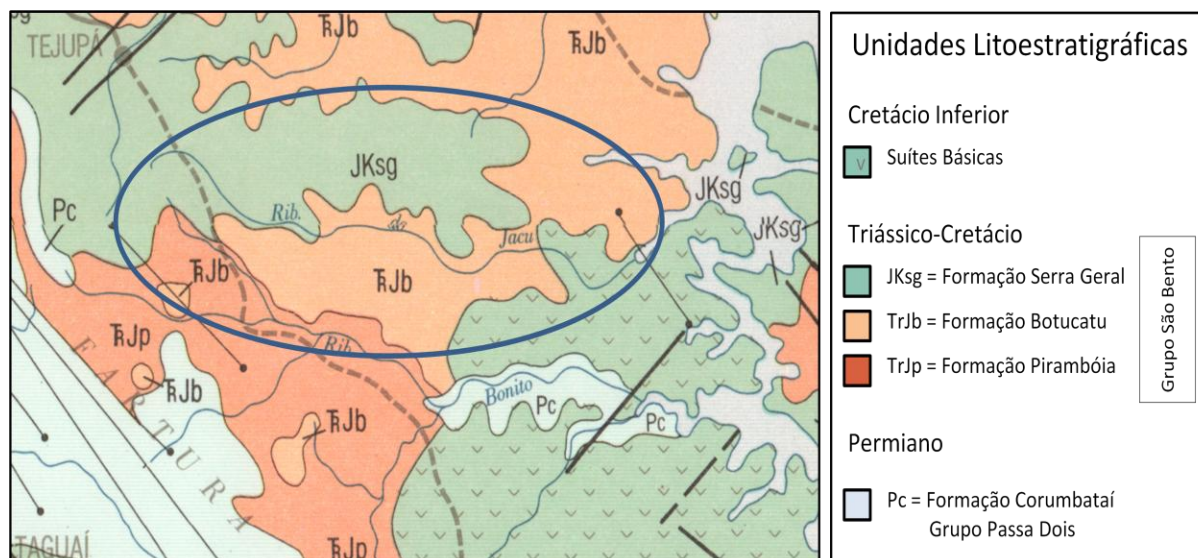
De acordo com o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1999a), a Bacia do Ribeirão do Jacú pertence à região da depressão do Paranapanema, parte da Bacia Sedimentar do Paraná, apresentando calhas com topos convexos, altimetria entre 600 e 700 metros e declividade dominante entre 10 e 20%.

A litologia local dominante é formada por arenitos e arenitos eólicos. Entretanto, a Bacia do Ribeirão do Jacú apresenta certas peculiaridades. A cabeceira da bacia encontra-se em região de falhamentos geológicos, resultando em um relevo bastante movimentado (IPT, 1974). Na região são encontradas rochas das formações Botucatu e Serra Geral.

À margem esquerda os solos foram formados por basaltos toleíticos em derrames tabulares superpostos e arenitos intertrapianos. À margem direita encontram-se solos formados por arenitos finos a médios, com estratificação cruzada de grande porte e cores creme e vermelho, compondo principalmente Latossolos Vermelhos (LV47) e Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA13) (IPT, 1999b).

No exutório da bacia são encontrados diques e sills, em geral básicos, incluindo diabásios. A área está sujeita a processos erosivos agressivos com probabilidade de ocorrência de movimentos de massa e erosão linear com voçorocas.

O índice crescente de dissecação do relevo e fragilidade é o Dc 24 (IPT, 1999a), apresentando um nível de fragilidade potencial alto em razão de suas formas muito dissecadas com vales entalhados associados a vales pouco entalhados e alta densidade de drenagem.



**Figura 3.** Geologia da Bacia do Ribeirão do Jacú. Fonte: Mapa Geológico do Estado de São Paulo (Folha SF-22-Z-D/SF-22-Z-C)

#### 4.1.2.4. Águas Subterrâneas

De acordo com Mapa de Aquíferos da UGRHI-14 elaborado pela CETEC/CTGEO (2012), no município de Tejuπά ocorre o predomínio do Aquífero Guarani, apresentando também pequenas porções do Aquífero Serra Geral.

Conforme o Relatório Síntese do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani (PDPA-SAG), proposto por Albuquerque Filho et al (2011), Tejuπά está inserido, em 100% de seu município, em área delimitada como proteção de afloramento do Aquífero Guarani. Sendo assim, em detrimento às características fortemente marcadas pela atividade agrícola e pela pecuária em Tejuπά, são necessárias medidas conservacionistas, associando a produção local com boas práticas de uso e manejo do solo, recuperação de áreas sensíveis e proteção dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Segundo dados disponibilizados *online* pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), das 31 outorgas pelo uso da água no município, 5 são de captação subterrânea. A expressividade de uso e captação das águas subterrâneas ainda é relativamente pequena na região, porém a preocupação pela sua integridade está em sua



vulnerabilidade quanto ao uso e manejo do solo, já que o município de Tejupá está localizado sob área de afloramento do SAG.

#### **4.1.3. Material Cartográfico e Digital**

O material cartográfico utilizado para compor a Bacia do Ribeirão do Jacú foram as cartas topográficas do IBGE na escala 1:50.000 de Sarutaiá (folha SF22ZDI3) e de Itai (folha SF22ZDI4). Este material colaborou para a delimitação da área da bacia e a rede de drenagem do Ribeirão do Jacú, bem como para instrumentalizar a análise morfométrica. Para a elaboração dos mapas de uso da terra foram utilizadas as imagens dos satélites Landsat-5 TM e Landsat-7 ETM+ e um Sistema de Informações Geográficas (SIG), o SPRING (CAMARA et al, 1996).

##### **4.1.3.1. Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas**

Para a elaboração deste trabalho, foi utilizado um software livre de Sistema de Informações Geográficas (SIG), o SIG SPRING versão 5.2.4, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) / Divisão de Processamento de Imagens (DPI).

O SIG SPRING tem como principais características:

- Integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno.
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, além de ferramentas para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados.

#### 4.1.3.2. Imagens Landsat

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Jacú está inserida na imagem situada na Orbita 221, Ponto 76 do satélite Landsat, adquiridas através de download pelo site do DGI/INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>).

Para o processo de classificação do uso da terra ao longo dos anos foram utilizadas imagens datadas em 21/06/2002 (Landsat-7 ETM+) e 26/09/2011 (Landsat-5 TM), com baixa cobertura de nuvens e sem a presença de ruídos que comprometessem a classificação. Também foi empenhado o cuidado em escolher imagens no mesmo período de estiagem para que a densidade de vegetação não causasse confusões comparativas no momento da classificação.

Embora tenha-se utilizado imagens de sensores diferentes para a caracterização temporal do uso da terra, as bandas utilizadas (5R 4G 3B), praticamente não alteram entre si quanto à resolução espectral entre o sensor TM do Landsat-5 e o sensor ETM+ do Landsat-7. A Tabela 1 apresenta os valores dos limites de comprimentos de onda de sensibilidade das bandas espectrais utilizadas.

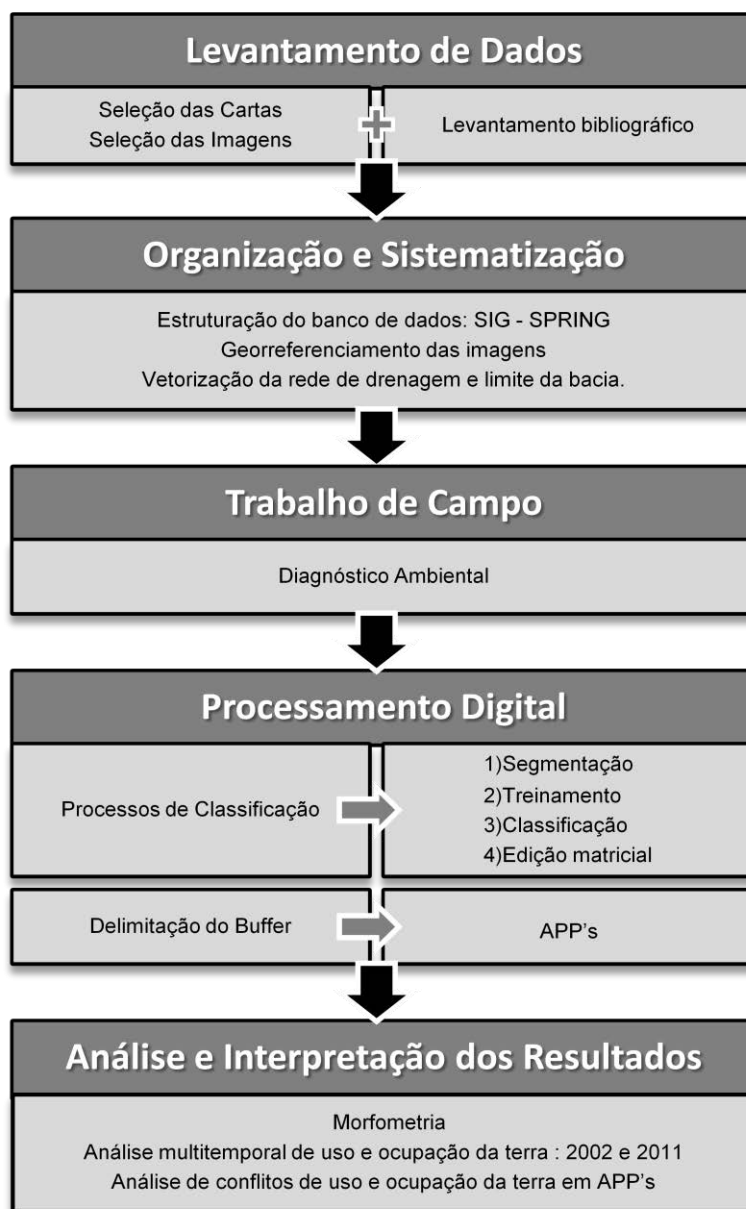
**Tabela 1.** Valores (em  $\mu$ ) dos limites de comprimentos de onda de sensibilidade das bandas espectrais TM e ETM+.

Sensor	Banda 3	Banda 4	Banda 5
TM	0.63 - 0.69	0.76 - 0.90	1.55 - 1.75
ETM+	0.63 - 0.69	0.78 - 0.90	1.55 - 1.75

Rodrigues et al (2007) avaliaram a aplicabilidade de um SIG e de imagem do satélite Landsat para determinação do uso da terra e concluíram que a interpretação de imagens de satélite, além de constituir método consagrado, possibilitou a obtenção de dados de grande precisão e fidelidade, atendendo as necessidades exigidas para trabalhos desta natureza, devido à rapidez com que os dados podem ser analisados e a amplitude do espaço físico alcançado. O emprego de imagens de satélites, de média resolução espacial, como e o caso das imagens obtidas pelo sensor Landsat-5 TM e Landsat-7 ETM+, tem-se mostrado com grande potencial para mapear áreas agrícolas (MOREIRA et al, 2009).

## 4.2. Metodologia

O presente estudo foi desenvolvido em cinco fases distintas (Figura 4), conforme se segue: Levantamento de Dados, Organização e Sistematização dos Dados, Trabalho de Campo, Processamento Digital dos Dados, Análise e Interpretação dos Resultados.



**Figura 4.** Fluxograma da sequência metodológica do trabalho.

### **4.2.1. Levantamento de Dados**

O levantamento de dados é o procedimento inicial para o planejamento de um projeto. Ele consiste na busca de material base para a organização das etapas de trabalho. O levantamento de dados deste trabalho consistiu nos seguintes procedimentos:

- Levantamento bibliográfico sobre a área de estudo para facilitar a interpretação das características da região.
- Consulta e seleção das cartas topográficas que englobassem o município de Tejupá
- Consulta e seleção das imagens de satélite mais adequadas ao estudo.

### **4.2.2. Organização e Sistematização**

#### **4.2.2.1. Elaboração do Banco de Dados**

Um banco de dados no SPRING corresponde fisicamente a um diretório onde serão armazenados tanto o modelo de dados com suas definições de categorias e classes, quanto os projetos pertencentes ao banco. Uma vez criado o banco de dados, é necessário definir o projeto com suas coordenadas geográficas ou planas e o sistema de projeção da área de interesse.

Para o início do processamento digital das cartas e imagens selecionadas para o trabalho, foi necessária a criação e estruturação do banco de dados no SIG SPRING. O gerenciador escolhido foi o Acess, os dados projetados no Sistema Universal Transversor de Mercator (UTM), zona 22 sul, em coordenadas planas e Datum SIRGAS 2000.

#### **4.2.2.2. Georreferenciamento das Cartas e Imagens**

O registro de uma imagem compreende uma transformação geométrica que relacionam coordenadas de imagem (linhas e colunas) com coordenadas de um sistema de referência. Essa transformação elimina distorções existentes na imagem, causadas em seu processo de formação pelo sensor e por imprecisão dos dados de posicionamento da plataforma (satélite).

O processo de registro é fundamental em vários problemas práticos na área de sensoriamento remoto tais como: integração de uma imagem a base de dados existente num SIG; fusão de imagens adquiridas por sensores diferentes e na análise de dados temporais (DPI/INPE, 2011).

As imagens Landsat selecionadas para o trabalho foram registradas (georreferenciadas), em modo teclado, através de coordenadas das cartas de Sarutaiá e Itaí.

#### **4.2.2.3. Delimitação da Bacia Hidrográfica e Rede de Drenagem**

Os traçados dos limites e da rede de drenagem da Bacia do Ribeirão do Jacú foram elaborados de forma manual, através de edição vetorial com o auxílio do mouse. Para tal, foi utilizado como referência a sobreposição das cartas digitais já georreferenciadas. Como orientação de delimitação da bacia, utilizou-se as curvas de nível e a rede de drenagem definitiva, por onde se buscou encontrar o divisor de águas entre a bacia hidrográfica do Ribeirão do Jacú e suas bacias vizinhas.

### **4.2.3. Processamento Digital das Imagens**

#### **4.2.3.1. Classificação das Imagens**

A classificação digital de imagens compõe-se de um conjunto de procedimentos que permitem associar objetos (pixels ou regiões) presentes em uma imagem a um conjunto de classes. É o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões homogêneos com o objetivo de mapear as áreas da superfície terrestre.

O resultado final de um processo de classificação é uma imagem onde cada pixel contém a informação de uma classe associada ao ponto da cena correspondente.

As técnicas de classificação (ou classificadores) podem ser divididas em classificadores por pixel ou regiões e podem levar em conta uma ou mais bandas da imagem (no caso de imagens multiespectrais). Neste trabalho, a classificação foi realizada através do método de classificação por regiões, que utilizam além da informação espectral de cada pixel, confere a relação entre os pixels e seus vizinhos (região). A composição utilizada no processo de classificação foi a 5R 4G 3B.

Os classificadores podem também ser divididos em supervisionados e não supervisionados. Na classificação supervisionada o usuário, numa etapa chamada treinamento, para cada classe que se deseja diferenciar na imagem, aponta-se um conjunto de amostras dessa classe. Essas amostras serão usadas para determinar os parâmetros estatísticos usados no processo decisão sobre a que classe um pixel pertence. Todos os pixels serão classificados entre uma das classes definidas no treinamento (DPI/INPE, 2011).

#### **4.2.3.1.1. Segmentação das Imagens**

Para proceder com a classificação adequada, a classificação supervisionada, foi necessária a segmentação automática das imagens. Neste processo, a imagem foi dividida em regiões de pixels contíguos e uniformes.

A técnica de agrupamento de pixels escolhida foi a de crescimento de regiões. Nesse processo, é calculado um critério de similaridade para cada par de região adjacente. Assim, foi feito um teste para saber qual o melhor valor de similaridade e área de pixels. Neste teste, os melhores valores encontrados e aplicados foram similaridade 6 e pixel 8.

#### 4.2.3.1.2. Amostras de Treinamento e Classificação Supervisionada

Na classificação por regiões da imagem segmentada, foi utilizado o classificador Batacharya para a classificação supervisionada. Esse tipo de classificação conta com a fotointerpretação de um especialista que extrai as informações através da inspeção visual da imagem.

A identificação das classes de uso foi realizada a partir da interpretação da imagem de satélite, considerando a resposta espectral imageada. Este recurso utiliza como parâmetros de identificação a tonalidade, textura fotográfica, o porte da vegetação, entre outros aspectos, como estrutura e forma das glebas, limites e outras evidências que fazem convergir para a melhor definição de cada classe.

Para facilitar a interpretação dessas características, foi utilizada a composição colorida falsa-cor 5R, 4G e 3B nas imagens para melhor discriminar os alvos analisados. Nas imagens Landsat frequentemente se utiliza essa composição por apresentar forte semelhança com as cores da natureza e por facilitar a interpretação da cobertura e do uso da terra.

Antes da classificação propriamente dita, um procedimento chamado de treinamento, reconhecimento da assinatura espectral das classes, é realizado selecionando amostras (áreas) representativas de cada classe que se deseja identificar na imagem. Para isso, é necessária a definição prévia das classes que se pretende utilizar, levando em conta as características da região de estudo. Para a Bacia do Ribeirão do Jacú, as classes de classificação foram definidas com base no Manual Técnico do Uso da Terra (IBGE, 2013b), conforme segue:

a) **Corpo d'água:** representado pelos cursos d'água naturais ou artificiais (represas) que compõem a rede de drenagem do Ribeirão do Jacú, contendo seu curso principal e afluentes;

b) **Mata:** compreende a vegetação natural de porte arbóreo e capoeiras, florestas naturais alteradas ou em estado de regeneração e matas ripárias que acompanham os cursos dos rios;

c) **Reflorestamento:** considerada como formações florestais artificiais e homogêneas geralmente organizadas em grandes maciços, ocorrendo em duas espécies principais: pinus e eucalipto;

d) **Pastagem:** área destinada ao pastoreio do gado, formada mediante plantio de forragens perenes ou aproveitamento e melhoria de pastagens naturais. Nessas áreas o solo encontra-se coberto por vegetação de gramíneas que podem variar de tamanho (ex.: pecuária extensiva, pasto sujo);

e) **Cultura permanente:** compreende o cultivo de plantas perenes, isto é, de plantas com ciclo vegetativo de longa duração. Essas plantas produzem por vários anos sucessivos sem a necessidade de novos plantios após a colheita. A representante desta categoria na bacia são as plantações de café;

f) **Cultura temporária:** cultivo de plantas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a produção, deixam o terreno disponível para novo plantio. Na região de estudo, são representadas pelas culturas de milho e soja. As lavouras semi-permanentes, como a cana-de-açúcar, também estão incluídas nessa categoria;

g) **Cultura irrigada:** cultura que utiliza sistema de irrigação mecanizada, indicando ao uso de tecnologias para a intensificação da produção. Na região, foram considerados os sistemas de pivôs de irrigação;

h) **Erosão:** local sem cobertura vegetal e degradada, apresentando-se em formas de ravinas e voçorocas;

i) **Área construída:** unidades com concentrações de edificações (casas, galpões).



#### **4.2.3.1.3. Tratamento Pós-Classificação**

Após o processo de classificação, é comum que a imagem apresente certa quantidade de pixels mal classificados (ruídos) no interior e nas adjacências das classes. Por isto é necessário um tratamento pós-classificação, para que seja feita a absorção destes pixels mal classificados e para posterior obtenção de uma imagem com melhor aspecto visual e resultados mais precisos.

Através da edição matricial foram corrigidas pequenas confusões de classificação para refinar o resultado dos mapas temáticos. Toda a Bacia do Ribeirão do Jacú foi revisada e, quando necessário, foram feitas correções na classificação das diferentes classes, principalmente em suas bordas.

#### **4.2.3.2. Delimitação das Áreas de Preservação Permanente**

Como um dos objetivos do trabalho foi a análise temporal de uso da terra em Áreas de Preservação Permanente, utilizando imagens de 2002 e 2011, se fez necessária a delimitação de um único *buffer* das APPs. Este *buffer* foi delimitado pautado no histórico legislativo, onde se procurou definir o mínimo de APPs marginais e em torno de nascentes que a bacia deve possuir atualmente para que atenda seus propósitos ecossistêmicos.

Para a delimitação das APPs, foi elaborado um *buffer* padrão de 30 metros marginal ao leito dos rios juntamente com um raio de 50 metros para as nascentes, conforme legislação florestal vigente. Para cada início do vetor da hidrografia foi considerado como nascente.

Pela não delimitação e levantamento histórico do desenvolvimento de cada propriedade rural da bacia, não foi considerada uma menor área de preservação às áreas ditas como consolidadas.

#### **4.2.4. Análise Morfométrica**

A análise da morfometria de uma bacia é a base de compreensão das condições fisiográficas naturais. Os resultados dessa análise servem como indicadores da suscetibilidade à degradação ambiental e auxiliam no planejamento para o manejo e fomentação de ações mitigadoras para a conservação e uso dos recursos naturais (RODRIGUES, 2004).

As características morfométricas do padrão de drenagem refletem as características locais, como infiltração e deflúvio da água das chuvas e expressam estreita correlação com a litologia, estrutura geológica e formação dos elementos que compõem a superfície terrestre, de acordo com (PISSARA et al, 2004).

Para a delimitação do divisor de águas da Bacia do Ribeirão do Jacú, com suas marcações de entorno e rede de drenagem, bem como todas as medições relativas ao comprimento dos canais de drenagem ou distâncias, foram utilizadas ferramentas de medição do SIG SPRING, via geoprocessamento da rede hidrográfica digitalizada tomando como referência as cartas topográficas do IBGE em escala de 1:50.000.

##### **4.2.4.1. Caracterização da ordem**

A ordem da bacia foi obtida segundo o sistema de Strahler (1957), com a metodologia de junção de dois tributários de primeira ordem ( $w_1$ ) originando um segmento de segunda ordem ( $w_2$ ) e a união destes, um segmento de terceira ordem ( $w_3$ ), assim sucessivamente. A junção de dois canais de ordens diferentes permanece em mesma ordem.

#### 4.2.4.2. Parâmetros Dimensionais da Bacia

Os atributos foram: comprimento do rio principal ( $C_p$ ) correspondendo à representação horizontal das sinuosidades do rio principal, desde a foz até a nascente, de acordo com Horton (1945); comprimento total da rede de drenagem ( $C_r$ ) que acompanha as sinuosidades do rio principal e dos tributários; perímetro da bacia ( $P$ ) correspondente ao comprimento da linha do divisor de águas que circunda a bacia e; área da bacia ( $A$ ) circunscrita pela linha do divisor de águas que delimita a bacia.

#### 4.2.4.3. Características Relacionadas à Forma

Com os parâmetros dimensionais da bacia foram calculadas as variáveis relacionadas à forma e à drenagem da bacia.

O fator de forma compara a bacia a um retângulo e pode ser obtido através da equação proposta por (HORTON, 1945):  $Ff = \left(\frac{A}{C^2}\right)$ , onde  $Ff$  = fator de forma;  $A$  = área de drenagem ( $\text{km}^2$ ) e  $C$  = comprimento da bacia (km).

O índice de circularidade também permite visualizar a forma e compara a bacia a figura geométrica de um círculo. Esse índice é igual ao coeficiente da equação multiplicado pela razão entre área e o quadrado do perímetro. Assim, a equação  $Ic = 12,57 \cdot \left(\frac{A}{P^2}\right)$ , onde:  $Ic$  = índice de circularidade;  $A$  = área de drenagem ( $\text{km}^2$ ) e  $P$  = perímetro (km).

Quando os resultados do fator de forma ou do índice de circularidade forem iguais ou próximos de 1,0 a bacia se aproxima da forma circular, indicando alta tendência a enchentes. Essa característica diminui à medida que a forma torna-se comprida (Tabela 2).

O coeficiente de compacidade ( $Kc$ ) é a relação entre a forma da bacia com um círculo. De acordo com Villela e Mattos (1975), esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho. Se a bacia for irregular, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente inferior ou igual à unidade 1,0 corresponde a uma bacia circular, portanto, maior susceptibilidade a

enchentes e conseqüentemente, assoreamentos da rede de drenagem da bacia. Quando o coeficiente for superior a 1,7 corresponde a uma bacia comprida com maiores tendências à conservação ambiental (Tabela 2). Para a determinação do coeficiente de compacidade, foi utilizada a seguinte equação:  $Kc = 0,28 \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right)$ , onde Kc = coeficiente de compacidade; P = perímetro (m) e A = área de drenagem (m<sup>2</sup>).

**Tabela 2.** Valores de referência para a interpretação dos resultados quanto ao fator de forma (Ff), índice de circularidade (Ic) e coeficiente de compacidade (Kc). Adaptado de Villela e Mattos (1975) e Rodrigues et al (2013).

Ff	Ic	Kc	Formato	Interpretação Ambiental
1,00 - 0,75	1,00 - 0,8	1,00 - 1,25	Redonda	Alta tendência a enchentes
0,75 - 0,50	0,8 - 0,6	1,25 - 1,50	Ovalada	Tendência mediana a enchentes
0,50 - 0,30	0,6 - 0,4	1,50 - 1,70	Oblonga	Baixa tendência a enchentes
<0,30	<0,40	>1,70	Comprida	Tendência a conservação.

#### 4.2.4.4. Composição da Rede de Drenagem

A composição da rede de drenagem refere-se ao número e comprimento de rios nas diferentes ordens de ramificação de uma bacia (HORTON, 1945).

Os números de segmentos de rios foram contados em cada ordem de ramificação (w) e representados por Nw e o número total de segmentos de rios da bacia por Nt.

A razão de ramificação ou de bifurcação (Rb) corresponde como sendo a relação entre o número total de segmentos de uma dada ordem (Nw<sub>1</sub>) e o da ordem imediatamente mais elevada (Nw<sub>2</sub>) (HORTON, 1945):  $Rb = \frac{Nw_1}{Nw_2}$

Para o cálculo da relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem (Rl), foi necessário calcular o comprimento médio dos segmentos fluviais (Lmw), conforme a seguinte equação:  $Lmw = \frac{Lw}{Nw}$ , onde Lw= soma dos comprimentos dos canais de uma ordem(w), Nw= número de segmentos desta mesma ordem.

Assim, procedeu-se o cálculo da relação entre o comprimento de cada ordem (Rl) conforme a equação:  $Rl = \frac{Lmw_2}{Lmw_1}$ , onde  $Lmw_2$  = comprimento médio dos canais de determinada ordem,  $Lmw_1$  = comprimento médio dos canais de ordem imediatamente de ordem inferior.

#### 4.2.4.5. Padrão da Rede de Drenagem

As variáveis relativas à drenagem foram: densidade de drenagem, densidade hidrográfica, extensão do percurso superficial da enxurrada e índice de sinuosidade dos canais.

A densidade de drenagem (Dd) é a relação entre o comprimento total de rios da bacia (Cr) e sua respectiva área (A), de acordo com Horton (1945). A Dd pode ser baixa (<1,5), com baixo escoamento superficial e maior infiltração; média (1,5 a 2,5), com tendência mediana de escoamento superficial; alta (>2,5), com alta tendência ao escoamento e enxurradas; e super alta (>3,0), com alta tendência ao escoamento superficial, enxurradas e erosão (FRANÇA, 1968; RODRIGUES et al, 2013). A Dd foi determinada pela equação:  $Dd = \frac{Cr}{A}$  em km de rios/km<sup>2</sup>, onde Dd = densidade de drenagem, Cr = comprimento total dos rios, A= área da bacia.

A densidade hidrográfica é a relação existente entre o número de rios ou cursos de água e a área da bacia hidrográfica. Esse índice compara a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área padrão (CHRISTOFOLETTI, 1969), sendo calculado pela fórmula:  $Dh = \frac{Nt}{A}$ , onde Dh= Densidade hidrográfica, Nt = número total de rios e A= área da bacia.

A extensão do percurso superficial da água de enxurrada, expressa em metros, representa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente (CHRISTOFOLETTI, 1969), determinada pela equação:  $Eps = \frac{1}{2Dd}$ , onde Eps = extensão do percurso de enxurrada (m), Dd = densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>).

Índice de sinuosidade do canal principal (Is) é o parâmetro apresentado inicialmente por Horton (1945) e descrito por Alves e Castro (2003) como

sendo uma das formas de representar a influência da carga sedimentar, a compartimentação litológica e estrutural. É uma relação entre o comprimento verdadeiro do canal (projeção ortogonal) com a distância vetorial (comprimento em linha reta) entre dois extremos do canal principal, de acordo com a equação:  $Is = \frac{Cp}{dv}$ , onde Is = índice de sinuosidade, Cp = comprimento do canal (m), dv = distância vetorial (m). Valores próximos a 1 indicam elevado controle estrutural ou alta energia e valores acima de 2 indicam baixa energia, sendo os valores intermediários relativos a formas transicionais entre canais retilíneos e meandranes.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

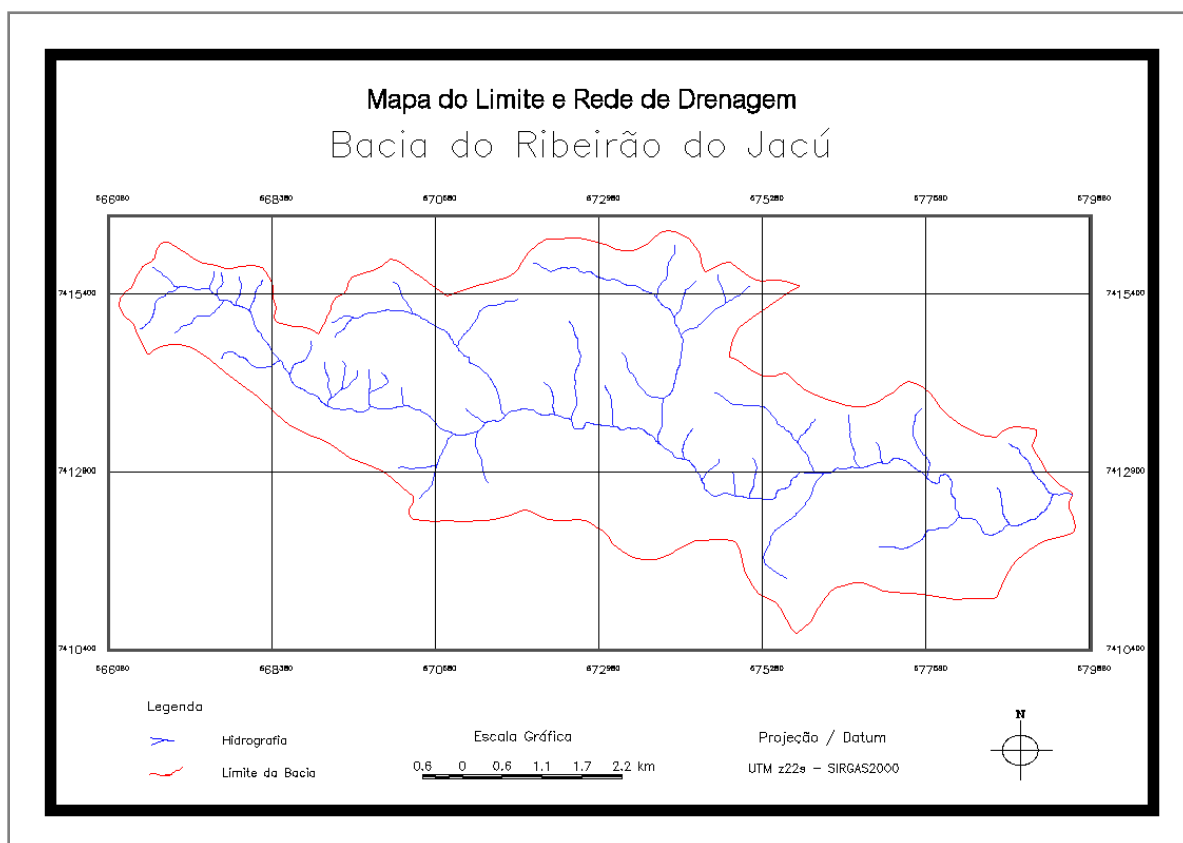
### **5.1. Análise Morfométrica da Bacia**

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais. Esse procedimento tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental, local e regional (TEODORO et al, 2007).

Os parâmetros dimensionais são dados imprescindíveis para a caracterização, interpretação das variáveis morfométricas e análises de tendências da degradação ou conservação ambiental das bacias. As características da rede de drenagem e dos parâmetros dimensionais do Ribeirão do Jacú permitiram constatar que a área da Bacia foi de 36,74 km<sup>2</sup> (Tabela 3). Esta medição de área é necessária como ponto de partida na análise morfométrica pois tem correlações com vários outros parâmetros morfométricos da bacia, além de sua importância para cálculo do deflúvio, balanço hídrico entre outros. Seu perímetro calculado foi de 37,21 km, comprimento do canal principal de 16,64 km e com uma rede de drenagem total de 54,03 km (Tabela 3).

**Tabela 3.** Características físicas da Bacia do Ribeirão do Jacú.

Características Físicas	Unidade	Resultados
Área da Bacia (A)	km <sup>2</sup>	36,74
Perímetro da Bacia (P)	km	37,21
Comprimento da drenagem total (Cr)	km	54,03
Comprimento do canal principal (Cp)	km	16,64
Fator de forma (Ff)	-	0,13
Índice de circularidade (Ic)	-	0,33
Coefficiente de compacidade (Kc)	-	1,72
Ordem (W)	-	4
Densidade hidrográfica (Dh)	-	1,28
Densidade de drenagem (Dd)	km/km <sup>2</sup>	1,47
Coefficiente de manutenção (Cm)	m/m <sup>2</sup>	0,68
Extensão do percurso superficial (Eps)	m	340
Índice de sinuosidade (Is)	-	1,28

**Figura 5.** Limite e rede de drenagem da Bacia do Ribeirão do Jacú.



A forma da bacia resulta de um longo processo de formação geomorfológica, um parâmetro indicativo das condições físicas da bacia em relação ao seu estado de conservação (MOREIRA, 2007). Nesse sentido, o fator de forma (Ff), o índice de circularidade (Ic) e o coeficiente de compacidade (Kc) correspondem às características relacionadas à forma da bacia.

Villela e Mattos (1975), afirmam que a forma superficial de uma bacia hidrográfica é importante na determinação do tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário para que toda a bacia contribua para a saída da água após uma precipitação. Para os mesmos autores, quanto maior o tempo de concentração, menor a vazão máxima de enchente, se mantidas constantes as outras características. Os resultados (Tabela 3) apresentam  $Ff= 0,13$ ,  $Ic= 0,33$  e  $Kc = 1,72$ . Esses índices indicam que o formato da Bacia do Ribeirão do Jacú apresenta-se como comprida e com tendências à conservação e baixa suscetibilidade à degradação. Para todos esses índices, quanto mais próximos ao valor 1, mais próxima a sua correspondência a uma bacia circular (GANDOLFI, 1971, citado por SILVA et al, 2006). No caso dos parâmetros Ff e Ic, quanto maior for este fator mais circular ou redonda será a bacia, conseqüentemente, maior serão os riscos de rápida concentração de água da chuva no canal principal. Desta forma, aumentarão também as inundações, os assoreamentos e a degradação ambiental. Já para Kc, quanto maior for o fator, mais alongada será a bacia, diminuindo assim os riscos de concentração rápida da água das chuvas para o canal principal, os assoreamentos, inundações e degradação ambiental.

A densidade hidrográfica (Dh) indica a frequência de cursos de água existentes na área da bacia, representando seu comportamento hidrográfico e sua capacidade de gerar novos cursos de água (CHRISTOFOLETTI, 1969), sendo o valor de  $Dh= 1,28$  apresentado na Bacia do Ribeirão do Jacú. Assim, este valor indica que há 1,28 canais por  $km^2$  da bacia.

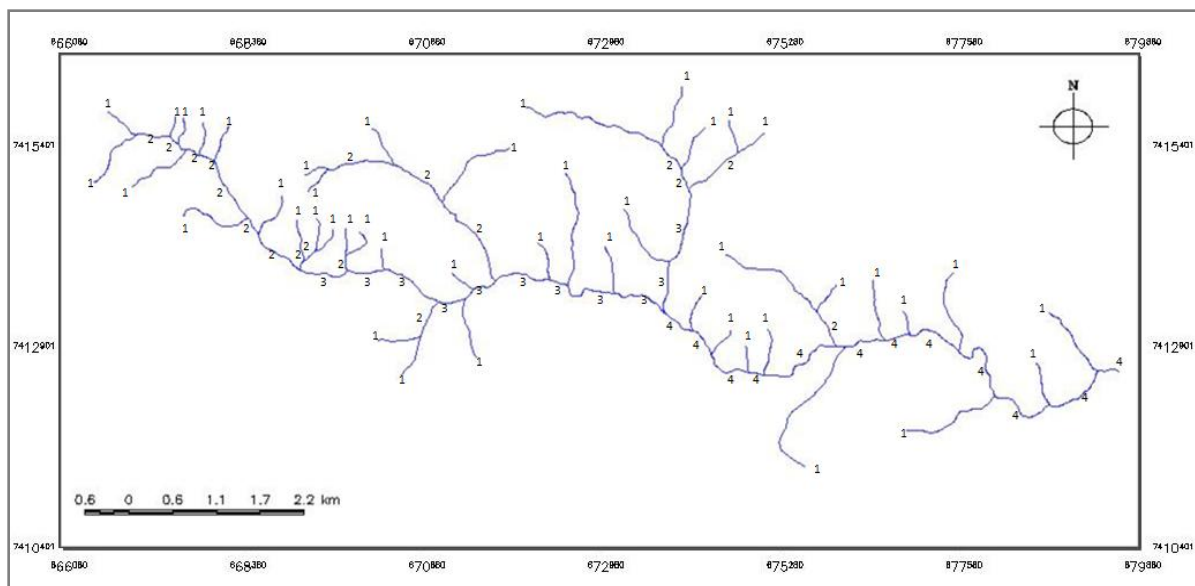
A densidade de drenagem (Dd) reflete a influência da origem geológica, da topografia, dos tipos de solo, da vegetação e das intensidades de precipitação, infiltração e escoamento superficial da água. Esta bacia possui uma Dd de 1,47 km de rios/ $km^2$  de área, o que permite inferir que o substrato da bacia possui um baixo escoamento

superficial e maior infiltração da água, o que confere características de funcionamento estável, com alta relação infiltração/deflúvio.

O coeficiente de manutenção ( $C_m$ ), que representa a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento (CHRISTOFOLETTI, 1969), foi de  $0,68 \text{ m}^2/\text{m}$  na bacia de estudo. Já a extensão do percurso superficial ( $E_{ps}$ ) representa que a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente é de 340 m.

O índice de sinuosidade ( $I_s$ ), que indica a relação entre o comprimento verdadeiro do canal (projeção ortogonal), com a sua distância vetorial (comprimento em linha reta), é de 1,28. Valores próximos a 1 (um) indicam que o canal tende a ser retilíneo com elevado controle estrutural ou alta energia, como é o caso do Ribeirão do Jacú (RODRIGUES et al, 2013). A sinuosidade dos canais também pode ser influenciada pela carga de sedimentos, pela sedimentação litológica, estruturação geológica e declividade dos canais (LANA et al, 2001)

Segundo o sistema de classificação de Strahler (1957), o Ribeirão do Jacú apresenta-se como uma bacia de 4ª ordem e indica consideráveis ramificações (Figura 6). O seu padrão de drenagem é dendrítico, apresentando um grande número de nascentes. Esse aspecto configura uma grande ocorrência de segmentos de primeira ordem, indicando um relevo consideravelmente recortado. A quantificação de todos os canais da rede drenagem e suas respectivas ordens e dimensões apresentam-se na Tabela 4.



**Figura 6.** Hierarquização da Bacia do Ribeirão do Jacú, Tejuπά –SP.

Através da Figura 6 é possível observar que a maioria dos tributários do Ribeirão do Jacú encontram-se em sua margem esquerda. Isso se deve ao fato da formação geológica do terreno, em sua margem esquerda, caracterizar-se por formações de basalto que, pela menor infiltração da água precipitada para o subsolo, há maior ocorrência de cursos superficiais. Em contrapartida, a margem direita do Ribeirão do Jacú caracteriza-se pela presença de arenitos finos por onde a água precipitada, bem como qualquer insumo agrícola utilizado em superfície, infiltra-se e percola mais facilmente com consequente maior ocorrência de corpos d'água subterrâneos.

A Tabela 4 mostra que a bacia apresenta a ocorrência de 65 canais de primeira ordem, 19 canais de segunda ordem, 12 canais de terceira ordem e 13 canais de quarta ordem. Com um total de 109 canais, a bacia apresenta uma rede de drenagem de aproximadamente 15,7 km de comprimento.

**Tabela 4.** Ordem, quantidade e comprimento dos segmentos de rios da Bacia do Ribeirão do Jacú

w	Nw	Lw (km)	Rb	Lmw (km)	RLm
1ª	65	30,74	2,37	0,68	1,02
2ª	19	8,84	1,58	0,46	1,24
3ª	12	6,88	0,92	0,57	0,68
4ª	13	7,57	-	0,58	-
<b>Nt / Lt</b>	109	54,03	-	-	-
<b>Média</b>	-	-	1,62	0,57	0,98

w: canais de cada ordem; Nw: número total de canais de cada ordem; Lw: comprimento total dos canais de cada ordem (em km); Rb: razão de bifurcação dos canais; Lmw: comprimento médio dos canais de cada ordem (em km); Rlm: relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem; Nt: número total de Nw, Lt: número total de Lw.

A razão de bifurcação (Rb) apresentada pela bacia foi de 1,62, considerada baixa, segundo Horton (1945). Quanto menor a razão de ramificação ou bifurcação da bacia, desde que conservada, menor será a tendência do escoamento superficial das águas pluviais e, conseqüentemente, maior será a capacidade de infiltração da água no solo, resultando em alta relação entre infiltração e deflúvio.

O número (Nw), comprimento total (Lw) e comprimento médio de segmentos de rios (Lmw) em cada ordem de ramificação, o número total (Nt), o comprimento total (Lt) e o comprimento médio total (Lmt) obtidos para a bacia estão na Tabela 4.

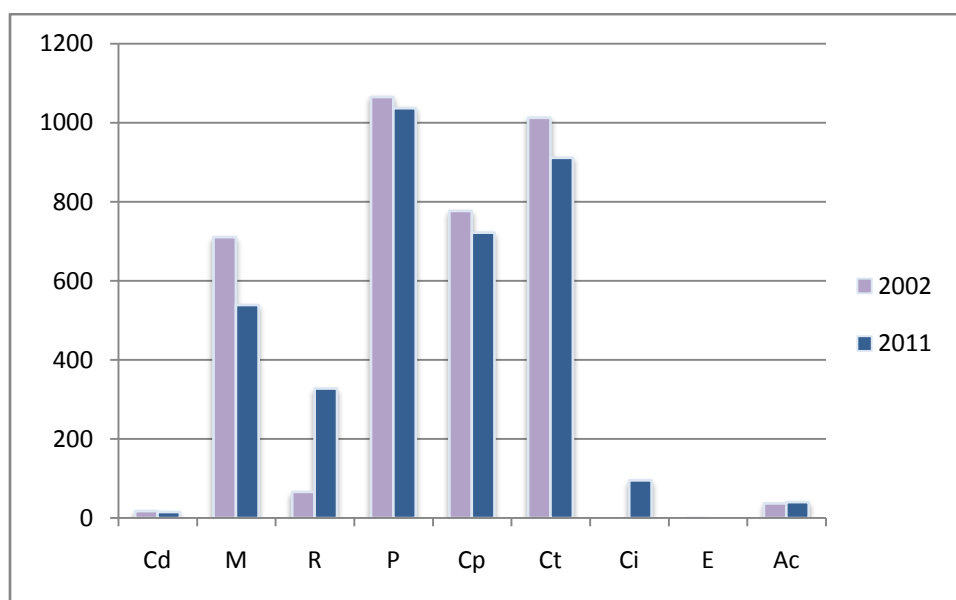
## 5.2. Uso da Terra na Bacia

De acordo com a classificação supervisionada das imagens do satélite Landsat de 2002 e 2011, foram gerados valores representativos das áreas de cada classe de uso da terra na Bacia do Ribeirão do Jacú (Tabela 5 e Figuras 7 e 8).

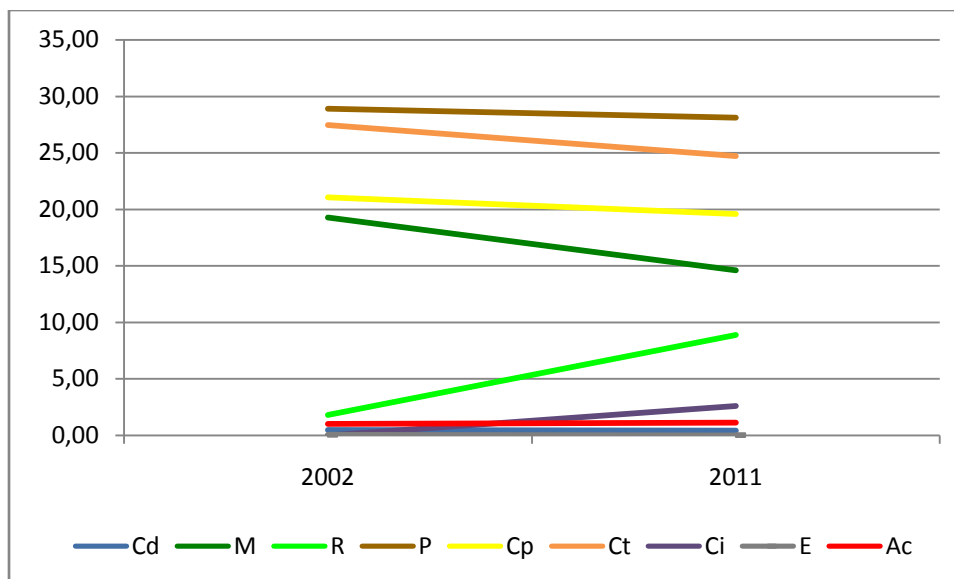
**Tabela 5.** Área (ha e %) das classes de uso da terra na Bacia do Ribeirão do Jacú e suas variações entre os anos de 2002 e 2011.

Classes	2002		2011		DP (%)	VA
	ha	%	ha	%		
Corpo d'água	17,46	0,47	15,29	0,41	-0,06	2,17
Mata	710,82	19,27	539,09	14,61	-4,66	171,73
Reflorestamento	66,51	1,80	327,51	8,88	7,08	261,00
Pastagem	1.065,60	28,89	1.037,27	28,12	-0,77	28,33
Cultura permanente	776,97	21,06	721,98	19,57	-1,49	54,99
Cultura temporária	1.012,59	27,45	911,25	24,70	-2,75	101,34
Cultura irrigada	0,00	0,00	95,76	2,60	2,60	95,76
Erosão	1,53	0,04	0,00	0,00	-0,04	1,53
Área construída	37,44	1,01	40,77	1,11	0,09	3,33
<b>Total</b>	<b>3.688,92</b>	<b>100</b>	<b>3.688,92</b>	<b>100</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

DP: diferença percentual entre os anos de 2002 e 2011, que considera a porcentagem da classe em relação a área total da bacia; VA: variação absoluta, que representa a diferença dos valores (em ha) de 2002 e 2011.



**Figura 7.** Área (ha) das classes de uso da terra na Bacia do Ribeirão do Jacú no ano de 2002 e 2011. Cd: Corpo d'água; M: Mata; R: Reflorestamento; P: Pastagem; Cp: Cultura permanente; Ct: Cultura temporária; Ci: Cultura irrigada; E: Erosão Ac: Área construída.



**Figura 8.** Uso da terra na Bacia do Ribeirão do Jacú nos anos de 2002 e 2011. Valores em porcentagem (%). Cd: Corpo d'água; M: Mata; R: Reflorestamento; P: Pastagem; Cp: Cultura permanente; Ct: Cultura temporária; Ci: Cultura irrigada; E: Erosão Ac: Área construída.

Os resultados (Tabela 5) permitiram observar que no ano de 2002 as classes mais representativas da bacia foram consideradas as de atividades antrópicas, sendo a de maior área a classe de pastagem, ocupando 28,89% (1.065,60 ha) da área total da bacia, seguida pela cultura temporária com 27,45% (1.012,59 ha) e cultura permanente com 21,06% (776,97 ha). Esses índices demonstram que a Bacia do Ribeirão do Jacú, em 2002, caracterizava-se fortemente pela atividade agrícola e pecuária/pastoreio.

A classe que tipifica a mata natural ou em regeneração avançada ocupa o quarto lugar em maior área, representando 19,27% (710,82 ha) da área total em 2002. A classe corpo d'água representou 0,47% (17,46 ha) e as classes reflorestamento (com 1,80% e 66,51 ha), área construída (com 1,01% e 37,44 ha) e erosão (com 0,04% e 1,53 ha) contribuíram com as menores representatividades na bacia. Neste ano analisado, não houve ocorrência da cultura irrigada.

Em 2011, as classes mais representativas da bacia, assim como em 2002, também foram as consideradas de atividades antrópicas. A classe pastagem, a mais foi a mais representativa da bacia, com 28,12% (1.037,27 ha) da área total, seguida pela cultura temporária com 24,70% (911,25 ha) e cultura permanente com 19,57% (721,98 ha). Concordando com o ano de 2002, a classe mata ocupa o quarto lugar em maior área,

representando 14,61% (539,09 ha) da área total. As classes menos representativas, em ordem decrescente, foram: reflorestamento (com 8,88% e 327,51 ha), cultura irrigada (com 2,60% e 95,76 ha), área construída (com 1,11% e 40,77 ha) e corpo d'água (com 0,41% e 15,29 ha). No ano de 2011, não houve ocorrência da classe erosão.

Quando comparado os anos de 2002 e 2011, embora a permanência do padrão de grande representatividade das classes pastagem, cultura temporária e cultura permanente, é possível observar que, ao longo dos anos, há uma leve queda de suas áreas (-0,77%, -2,75% e 1,49%, respectivamente). A variação absoluta dessas classes representam uma diminuição de 101,34 ha de culturas temporárias, 54,99 ha de cultura permanente e 28,33 ha de pastagens. Pode-se também observar uma significativa alteração na área das matas que foi reduzida em 4,66% entre os anos de 2002 e 2011, representando uma diminuição de 171,73 ha.

A redução destas classes pode ser explicada pelo aparecimento e avanço da atividade agrícola irrigada e pela expansão das atividades de reflorestamento. De acordo com a Tabela 5, a ocorrência da classe cultura irrigada é nula em 2002 e em 2011 é de 2,60%, ocupando um espaço de 95,76 ha; já o reflorestamento, conta com um expressivo aumento de sua área dentro da bacia, correspondendo a uma evolução de 7,08% e incrementando em 261 ha de área produtiva.

Mesmo com pequenas variações de área das classes Erosão (com redução de 0,04% e variação absoluta de 1,53 ha) Corpo d'água (com redução de 0,06% e variação absoluta de 2,17 ha) e Área construída (com aumento de 0,09% e variação absoluta de 3,33 ha) quando comparados os anos de 2002 e 2011 e a área total da bacia, essas variações não apresentam como relevantes na dinâmica do uso da terra no período estudado.

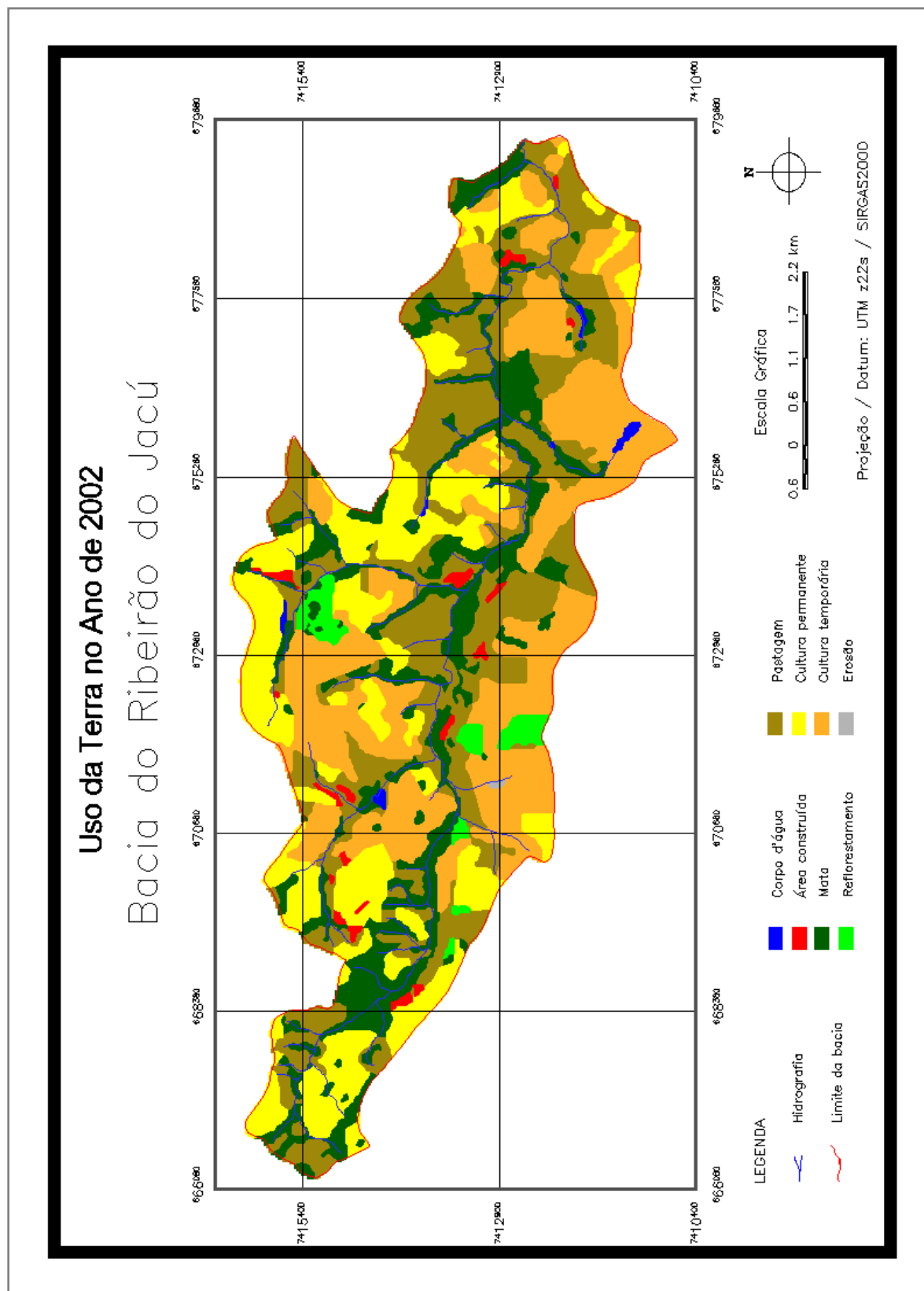
A alteração dos valores de classes apontam um reordenamento no cenário de ocupação e uma intensificação e modernização da agricultura irrigada, bem como um fortalecimento das atividades de reflorestamento na Bacia do Ribeirão do Jacú. Esses aspectos podem ser melhor observados através dos mapas elaborados pela identificação da substituição da paisagem por essas classes.

### **5.2.1. Mapas do Uso da Terra na Bacia**

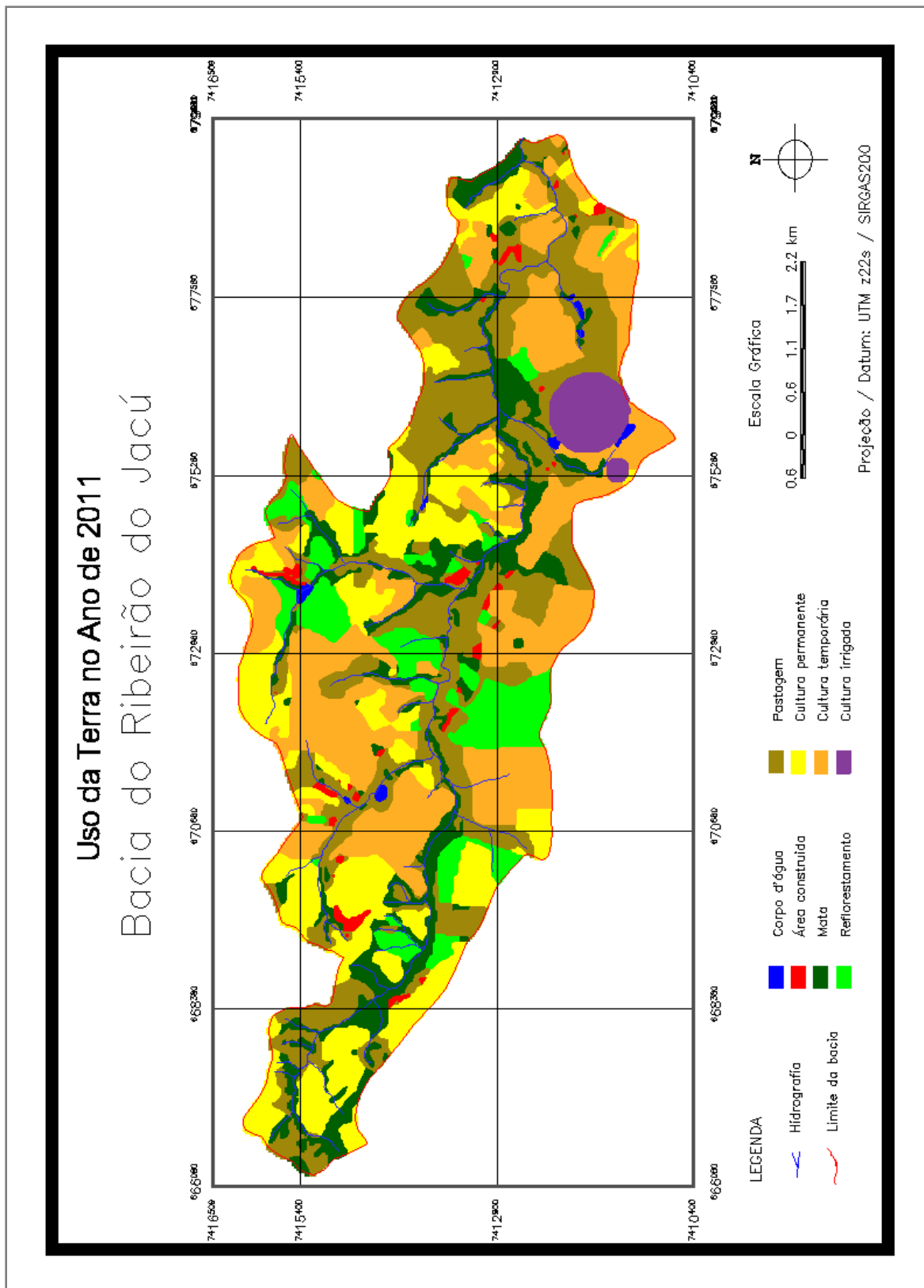
O mapeamento do uso da terra visa caracterizar fisicamente uma bacia hidrográfica. No que tange o uso da terra, a confecção de mapas instrumentaliza a visualização da realidade existente em uma determinada área de forma padronizada e organizada. Quando o mapeamento é confeccionado para a análise multitemporal, isto é, em um ou mais momentos distintos, é possível comparar as modificações ocorridas entre os períodos analisados, otimizando a compreensão da dinâmica local para sua melhor gestão e planejamento.

Nas Figuras 9 e 10 é possível visualizar a transformação ao longo do tempo as modificações das áreas das classes selecionadas.





**Figura 9.** Uso da terra no ano de 2002 na Bacia do Ribeirão do Jacú.



**Figura 10.** Uso da terra no ano de 2011 na Bacia do Ribeirão do Jacú.

Além da reordenação territorial entre os anos de 2002 e 2011, observados através dos números e gráficos já apresentados, nos mapas é possível notar claramente o aparecimento de pivôs de irrigação. Tal fato denota o avanço de cultivos modernos e, assim, intensivos.

### **5.3. Conflitos de Uso em Áreas de Preservação Permanente**

As Áreas de Preservação Permanente exercem a função de proteção dos mananciais, seja ele superficial ou subterrâneo. No que se refere à preservação da qualidade e quantidade de água na Bacia do Ribeirão do Jacú, o ecossistema que compõe as Áreas de Preservação Permanente das zonas ripárias e nascentes de água desempenha funções essenciais para a resiliência da bacia. Contribuem, dentre outros, com aumento da capacidade de armazenamento e manutenção da qualidade da água, mantém a estabilidade das margens dos rios, provêm equilíbrio térmico da água, a proteção de nascentes, formação de corredores ecológicos e a conservação da biodiversidade (FAIL et al, 1987; NAIMAN e DÉCAMPS, 1997; LOWRANCE et al, 1997; LIMA e ZAKIA, 2006).

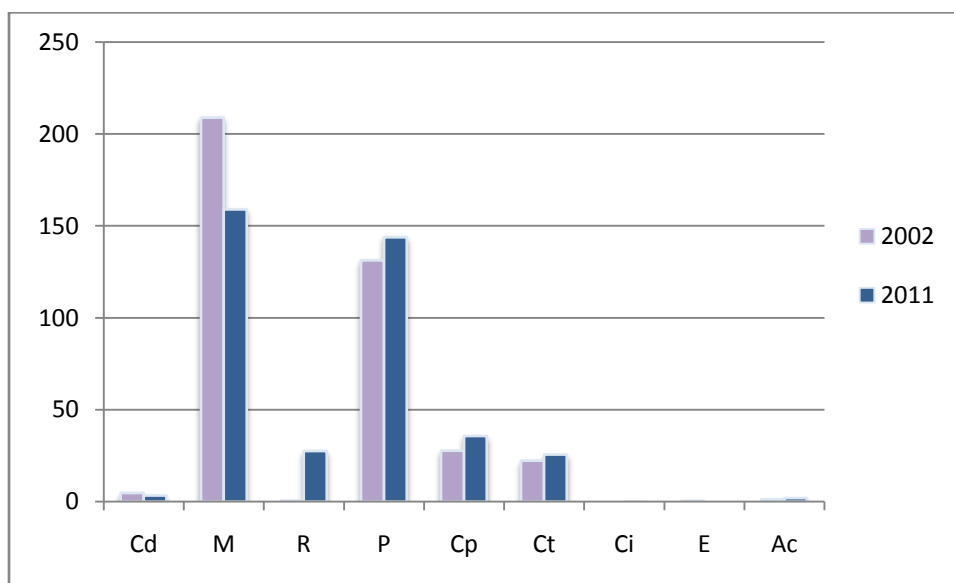
No entanto, essas áreas de preservação despertam interesses conflitantes. Agricultores as veem como uma área com um potencial produtivo (MATSON et al, 1997). Por outro lado, sua preservação e restauração visando proteger suas funções hidrológicas e ecológicas, contribuem essencialmente com a produção de forma sustentável (LIMA e ZAKIA, 2000).

A Bacia do Ribeirão do Jacú possui 336,98 hectares de área de APP (nascentes e borda de rios), o que representa 9,17% da área total da bacia. Nesta área constata-se conflitos de uso e preservação, como é possível observar na Tabela 6 e Figuras 11 e 12.

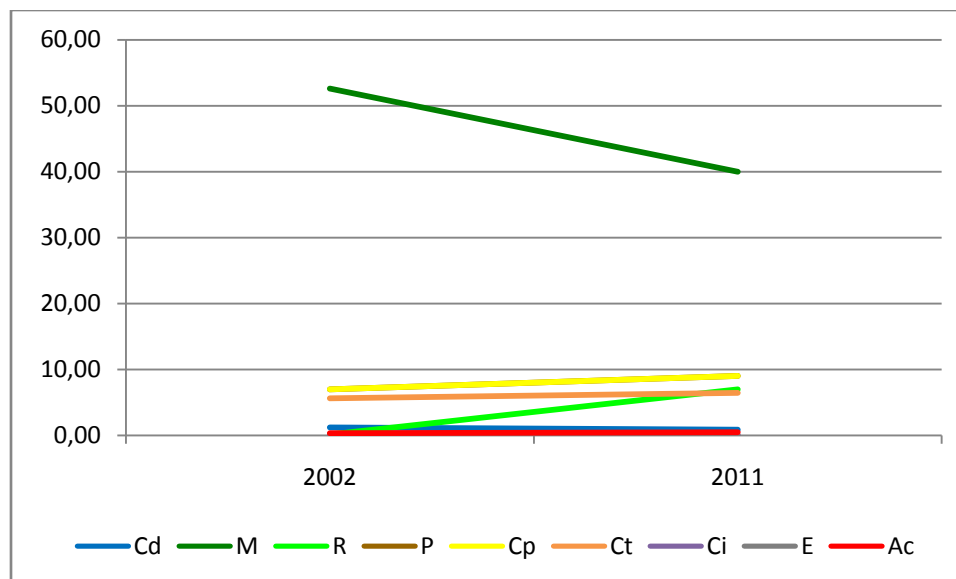
**Tabela 6.** Área (ha e %) das classes de uso da terra em APP na Bacia do Ribeirão do Jacú e suas variações entre os anos de 2002 e 2011.

Classes	2002		2011		DP (%)	VA
	ha	%	ha	%		
Corpo d'água	4,68	1,18	3,42	0,86	-0,32	1,26
Mata	208,80	52,58	158,85	40,00	-12,58	49,95
Reflorestamento	0,54	0,14	27,63	6,96	6,82	27,09
Pastagem	131,31	33,07	143,82	36,22	3,15	12,51
Cultura permanente	27,72	6,98	35,73	9,00	2,02	8,01
Cultura temporária	22,32	5,62	25,56	6,44	0,82	3,24
Cultura irrigada	0,00	0,00	0,18	0,05	0,05	0,18
Erosão	0,45	0,11	0,00	0,00	-0,11	0,45
Área construída	1,26	0,32	1,89	0,48	0,16	0,63
<b>Total</b>	<b>397,08</b>	<b>100</b>	<b>397,08</b>	<b>100</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

**DP:** diferença percentual entre os anos de 2002 e 2011, que considera a percentagem da classe em relação a área total da bacia; **VA:** variação absoluta, que representa a diferença dos valores (em ha) de 2002 e 2011.



**Figura 11.** Gráfico da área (em ha) das classes de uso da terra na Bacia do Ribeirão do Jacú no ano de 2002 e 2011. Cd: Corpo d'água; M: mata; R: reflorestamento; P: pastagem; Cp: cultura permanente; Ct: cultura temporária; Ci: cultura irrigada; E: erosão Ac: área construída.



**Figura 12.** Uso da terra em APP na Bacia do Ribeirão do Jacú nos anos de 2002 e 2011. Valores em porcentagem (%). Cd: Corpo d'água; M: Mata; R: Reflorestamento; P: Pastagem; Cp: Cultura permanente; Ct: Cultura temporária; Ci: Cultura irrigada; E: Erosão Ac: Área construída.

Embora a APP apresentar-se preservada em 52,58% (208,80 ha) em 2002, este cenário está longe de ser adequado perante a legislação florestal vigente. Este fato se torna ainda mais preocupante quando se identifica um avanço de diferentes culturas e áreas de pastagens em locais que deveriam ser de preservação permanente. Entre 2002 e 2011 ocorreu a supressão de 12,58%, correspondente a diminuição de 49,95 ha da mata natural que compõe a área essencial para a manutenção dos recursos hídricos.

As áreas de pastagens são as que mais adentram nas APPs, representando 33,07% (131,31 ha) em 2002 e 36,22 (143,82 ha) em 2011, perfazendo uma variação absoluta de 12,51 ha. Apesar do avanço dessa atividade ser considerada pequena ao longo dos anos (3,15%), esse índice é bastante alto e preocupante. Áreas de pastagem, por caracterizarem-se pela vegetação rasteira e de porte baixo, minimizam o efeito de “filtro” de proteção aos recursos hídricos em comparação com a vegetação natural, além de potencializar os processos erosivos que resultam em assoreamentos de corpos hídricos e compactam o solo, diminuindo assim o armazenamento de água e ar entre suas partículas, diminuindo também sua fertilidade.

As classes que compõem a agricultura (cultura permanente, cultura temporária e cultura irrigada), juntas, representam um total de 12,60% (50,04 ha) da área da

bacia em 2002 e 15,49% (61,47 ha) em 2011, resultando em variação absoluta positiva de 11,43 ha. É possível identificar através dos números a tendência do avanço dessas culturas em áreas protegidas. Dentre elas, a mais representativa é a cultura permanente (com diferença percentual positiva de 2,02% e variação absoluta de 8,1 ha entre os anos de 2002 e 2011), seguida pela cultura temporária (com diferença percentual positiva de 0,82% e variação absoluta de 3,24 ha entre os anos de 2002 e 2011) e por fim, a cultura irrigada (se mostrando presente apenas em 2011, porém ainda pouco representativa, com diferença percentual de 0,05 e variação absoluta de 0,18 ha).

Também é possível observar que a Bacia do Ribeirão do Jacú apresenta um expressivo avanço do reflorestamento que, embora represente uma menor ocupação em área de APP do que as outras atividades já mencionadas, obteve uma diferença percentual positiva de 6,82% entre os anos de 2002 e 2011. Esse número torna-se ainda mais preocupante quando observada a variação absoluta, que representa 27,09 ha (0,54 ha em 2002 e 27,63 ha em 2011) em área que deveria estar recoberta por vegetação natural protegida, sabendo que a disponibilidade de água disponível no solo e subsolo diminuem quando ocorre a substituição de vegetação natural, que são adaptadas ao local, por uma monocultura de reflorestamento.

Dessa forma, os serviços ambientais que o ecossistema de APPs desempenham, principalmente no que se refere à qualidade e quantidade de água e à preservação da biodiversidade, correm o risco de serem comprometidos se essas áreas de preservação não forem regularizadas e incluídas em um planejamento territorial. Os objetivos de um plano de manejo integrado de uma bacia certamente incluem, juntamente com uma boa produção agrícola, a preservação de impactos ambientais, proteção de zonas sensíveis, preservação dos serviços ecossistêmicos e restauração de áreas degradadas.

### **5.3.1. Mapas do Uso da Terra em Áreas de Preservação Permanente**

Para maior visualização e entendimento da dinâmica de ocupação do espaço e substituição de usos (classes) ao longo dos anos de 2002 e 2011 foram confeccionados os mapas de uso da terra (Figuras 13 e 14) na Bacia do Ribeirão do Jacú.

São perceptíveis os riscos ambientais da bacia devido ao conflito de uso da terra, ocorrendo a não preservação das APPs pela ausência de matas ripárias em diversos trechos ao longo dos rios e nascentes.

Os mapas confeccionados servem como instrumento de informação para a gestão adequada, tanto de forma fiscalizadora como de ações para recuperação, em locais de APP.

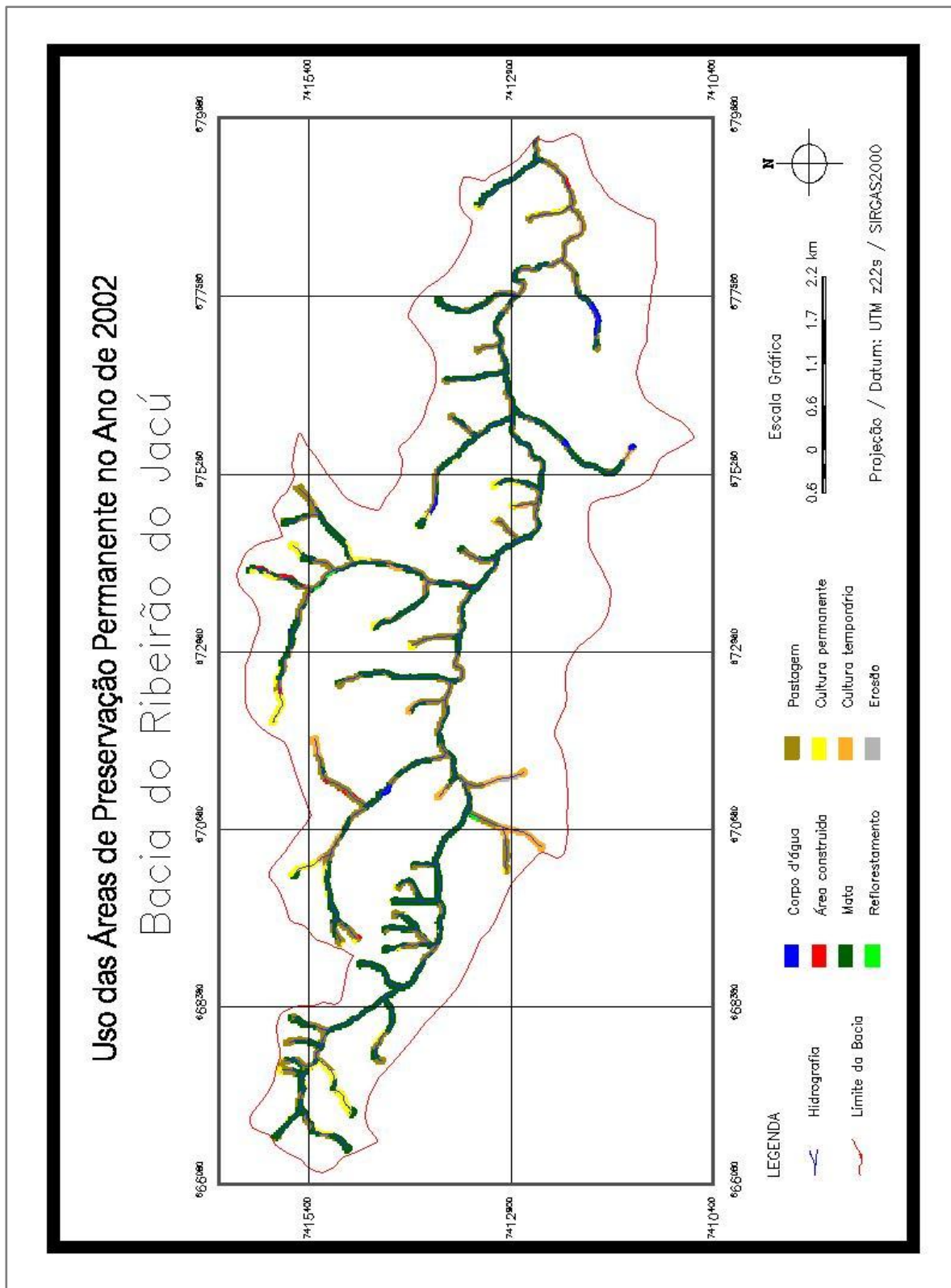


Figura 13. Uso da terra em APP na Bacia do Ribeirão do Jacú no ano de 2002.



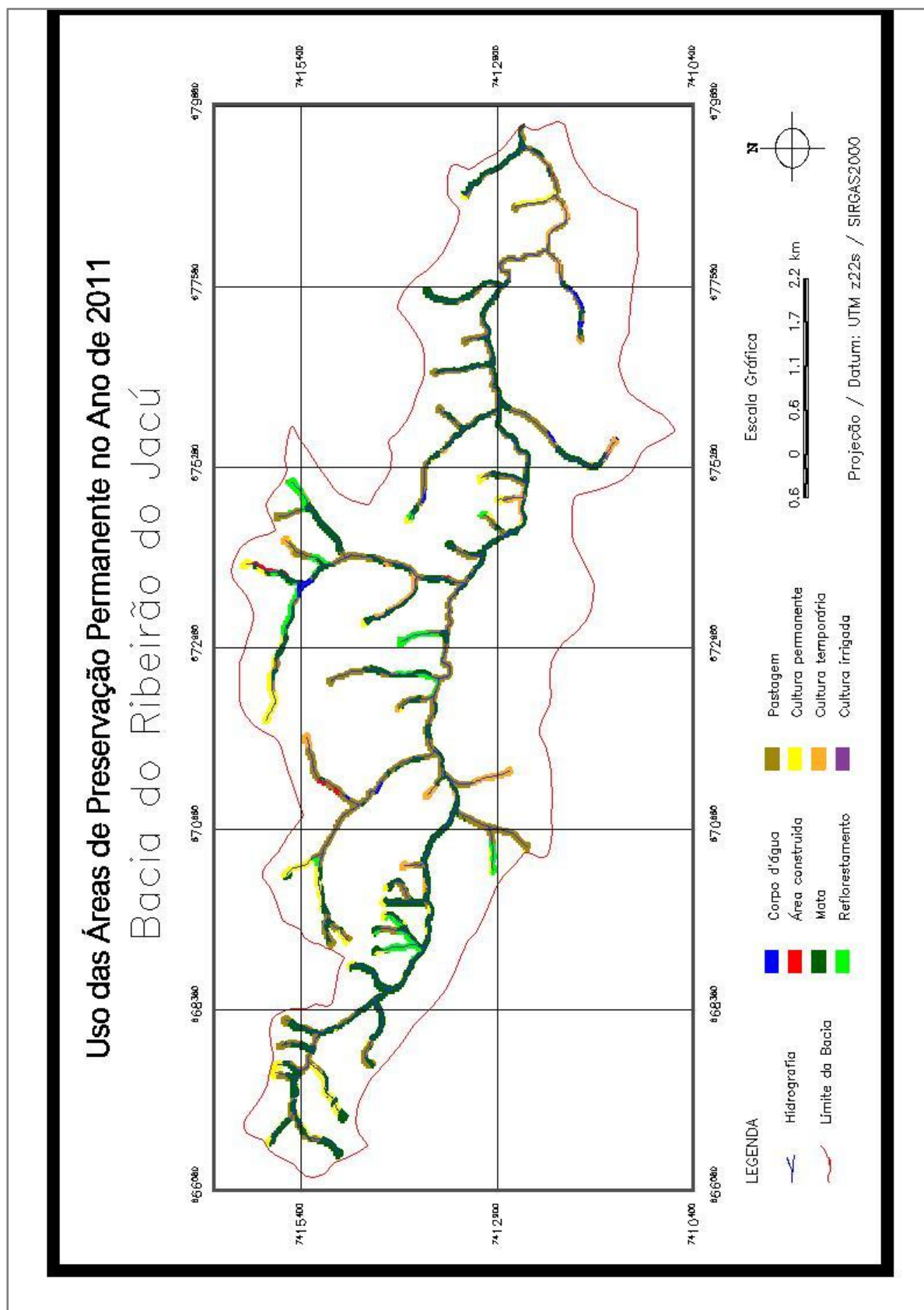


Figura 14. Uso da terra em APP na Bacia do Ribeirão do Jacú no ano de 2011.

Como pode ser observado em ambos os mapas, há uma grande ocupação antrópica em áreas que deveriam estar ocupadas por mata ciliar, deixando de conferir a conservação adequada aos recursos hídricos pela falta da vegetação natural e seus serviços ambientais por ela garantidos. Essa ocupação imprópria de locais de APP, na Bacia do Ribeirão do Jacú, está representada principalmente por pastagens, cultura permanente (café) e culturas temporárias (milho e soja). Em 2011, é notória a expansão da substituição do uso das APP por diversas áreas de reflorestamento.

A ocupação de locais de APP torna-se mais preocupante em rios de primeira ordem, onde encontram-se as nascentes, por serem locais de grande fragilidade e de suprimento aos corpos d'água. A preservação das áreas de nascentes são consideradas prioritárias para garantir a qualidade e quantidade adequadas ao longo de toda a bacia. A preservação dessas áreas consistem em, além da manutenção da vegetação natural ao entorno delas, cuidados especiais no manejo do solo para diminuir a velocidade das enxurradas e aumentar a infiltração de água no solo para o abastecimento das nascentes, prevenção contra descargas de esgotos no curso dos rios, bem como outros cuidados para evitar qualquer tipo de poluição das águas.

A região de maior vulnerabilidade da Bacia do Ribeirão do Jacú, por suas características pedológicas, é a localizada à sua margem direita, por caracterizar uma área de solos formados por arenitos, em contraponto com sua margem esquerda com formação basáltica. Assim, medidas conservacionistas são mais urgentes em áreas de maior vulnerabilidade em áreas de recarga dos recursos hídricos subterrâneos para prover descarga adequada às nascentes que, posteriormente, irão suprir todo o curso de água da bacia.

#### **5.4. Diagnóstico Ambiental da Bacia**

A área da Bacia do Ribeirão do Jacú se encontra em região de alta vulnerabilidade, em área de afloramento do Aquífero Guarani. A vulnerabilidade da Bacia está diretamente associada às fragilidades intrínsecas, como suas características geológicas, e a ocorrência de eventos indesejados, como o manejo inadequado da terra. Nesta região, são perceptíveis os conflitos ambientais entre produção agrícola e conservação local, sendo

possível observar diversos pontos sem a devida proteção das nascentes, cursos do rio e represas. Nessas áreas onde deveria ocorrer a preservação da vegetação natural, muitas vezes é ocupada pelo cultivo agrícola e pastagens. Além disso, pode-se observar alguns trechos de erosão do solo por falta de manejo adequado.

Dentre os principais cultivos da Bacia do Ribeirão do Jacú, ocorre o predomínio da cultura do café e grandes áreas de cultivo de milho e soja, que estendem-se por toda a bacia. Há também ocorrência do cultivo da cana-de-açúcar e diversas áreas de reflorestamento.

Ganha-se destaque na região o avanço de culturas irrigadas. Foi possível averiguar o uso de tecnologias modernas para a irrigação em extensas áreas de cultivo de culturas temporárias. A preocupação com a intensificação desse modo de cultura da região é o grande consumo de água exigido por esse método e a intensificação do uso de agrotóxicos. O aumento da carga de defensivos agrícolas aumentam também os riscos de contaminação dos corpos d'água, através da lixiviação e percolação da água contaminada com esses componentes. Assim, é importante o acompanhamento da evolução da agricultura e em particular o avanço da irrigação para alertar e evitar possíveis contaminações e adequar o sistema de cultivo a um planejamento ambiental.

O ecossistema natural preservado é a base para a produção de água de forma regular e dos serviços ambientais. Com a vegetação preservada, cria-se uma superfície que proporciona condições ambientais estáveis para um menor escoamento superficial, maior capacidade de infiltração da água da chuva, reabastecimento, regularização do lençol freático e produção de água. Quando o ambiente encontra-se alterado ou degradado por ações antrópicas desordenadas, como foi verificado em alguns trechos do Ribeirão do Jacú, surgem erosões e compactação com redução da porosidade de solo, e assim, o ecossistema perde sua estabilidade natural, aumentando o escoamento superficial, erosões nas ravinas e assoreamento dos rios. A capacidade de infiltração diminui e conseqüentemente altera-se substancialmente o reabastecimento do lençol freático, comprometendo todo o funcionamento hidrológico da bacia e sua capacidade ecológica e hidrológica de produção de serviços ambientais, alterando a dinâmica dos ecossistemas aquáticos e terrestres (RODRIGUES, 2006).

As Áreas de Preservação Permanente são garantidas por lei e representam o mínimo a se manter para contribuir com a proteção dos cursos d'água. Elas possuem diversas funções ambientais, devendo se respeitar uma extensão específica de acordo com a largura dos rios, córregos, lagos, represas e nascentes e, nos casos de áreas consideradas como consolidadas, estas áreas também são restritas de acordo com o módulo fiscal da propriedade. Assim, conforme Lei n. 12.651/2012 toda a vegetação natural (arbórea ou não) presente ao longo dos cursos d'água deve ser preservada, caso que não ocorre em muitos trechos do Ribeirão do Jacú.

Para o conhecimento local do objeto de estudo, a Bacia do Ribeirão do Jacú, foi feita uma visita planejada, em 10 de maio de 2014, para a confirmação *in situ* das características já observadas através das imagens de satélite para que fosse elaborada a classificação e mapeamento do seu uso. Além disso, foi possível prover um diagnóstico das atividades exercidas no local, bem como práticas de conservação do solo ou de não preservação de Áreas de Preservação Permanente.

Na Bacia do Ribeirão do Jacú, em seus 36,74 km<sup>2</sup>, predominam os cultivos de café, soja e milho. Além da atividade pecuária observada ao longo de toda bacia, foi possível identificar diversos pontos de reflorestamento. O avanço da modernização e intensificação agrícola da região foi marcada pela presença de culturas irrigadas em sistemas de pivô central.

No que se refere à má conservação do solo, foram identificados alguns pequenos focos de erosão ao longo da bacia. Outros pontos negativos apontados na região foram o descarte inadequado de embalagens de produtos agrícolas em torno dos corpos d'água, a falta de APP adequada ao longo dos cursos dos rios e nascentes, falta de proteção das represas, destinação incorreta de resíduos sólidos à beira de corpos d'água e possíveis pontos de eutrofização da água.

Em contraponto, práticas de manejo conservacionistas estão sendo adotadas em alguns trechos da bacia. Foi observado o uso de sistemas de rotação entre as culturas de milho e soja, que diminuem a exaustão do solo, além de técnica de plantio direto, que evita a mobilização do solo e cria um novo ambiente ecológico.

#### 5.4.1. Cultura Permanente: Café

Em todo o território que compreende a Bacia do Jacú pode-se observar a forte presença da cultura do café, sendo a região fornecedora de grãos de grande qualidade em destaque no Brasil (Figura 15).



**Figura 15.** Placa em frente a uma fazenda de Café na cabeceira da Bacia do Ribeirão do Jacú.

A cultura do café concentra-se em grande parte à montante da Bacia do Ribeirão do Jacú, muito pela declividade, onde culturas permanentes tem melhor adaptação em relação às culturas temporárias. No entanto, pequenos e grandes fragmentos de cultura de café estão espalhados por toda a bacia (Figuras 16, 17 e 18).



**Figura 16.** Plantação à beira da estrada em área de cabeceira da Bacia do Ribeirão do Jacú.



**Figura 17.** Plantação de café à jusante da bacia e terreiro de café para a secagem dos grãos.



**Figura 18.** Plantação de café à jusante da bacia e terreiro de café para a secagem dos grãos.

#### **5.4.2. Culturas Temporárias: Milho e Soja**

A produção de milho no Brasil, juntamente com a de soja, contribui com cerca de 80% da produção de grãos no Brasil (DUARTE; GARCIA; MIRANDA, 2011). Tanto no Estado de São Paulo como na área da Bacia do Ribeirão do Jacú é possível observar forte representatividade dessas culturas (Figuras 19 e 20).



**Figura 19.** Plantação de soja localizada ao centro da Bacia do Ribeirão do Jacú.



**Figura 20.** Plantação de milho localizada ao centro da bacia Ribeirão do Jacú.

Na Bacia do Ribeirão do Jacú pode-se observar a ocorrência de sistema de rotação entre plantações de milho e soja (Figura 21). Esta técnica agrícola consiste em alternar espécies vegetais numa mesma área e é considerado como um sistema de conservação que visa diminuir a exaustão do solo de forma que as necessidades de adubação sejam diferentes a cada ciclo.

A rotação de culturas é a base de sustentação do plantio direto e, nesse aspecto, a rotação de verão, principalmente entre as culturas de milho e soja, apresenta papel de destaque. Além do aumento de suas produtividades (tanto no milho como na soja), essa rotação facilita o controle de pragas, doenças e plantas daninhas, além de propiciar melhor aproveitamento de nutrientes. Além disso, por escalar diferentes culturas, ocorre variação radicular explorando diferentes formas o solo e, ainda, promove a rotação de defensivos agrícolas, melhorando o controle de plantas daninhas e insetos (CRUZ, 1999).

A cultura do milho tem a vantagem de deixar uma grande quantidade de restos culturais que, uma vez bem manejados, podem contribuir para reduzir a erosão e melhorar o solo. Desta forma, sua inclusão em um esquema de rotação é fundamental. A sustentabilidade de um sistema de produção não está apoiada apenas em aspectos de conservação e preservação ambiental, mas também nos aspectos econômicos e comerciais.





**Figura 21.** Cultivo em rotação milho e soja.

Em termos de modernização da agricultura brasileira, a utilização do sistema de plantio direto é uma realidade inquestionável e a participação da cultura do milho em sistemas de rotação e sucessão (safrinha) de culturas para assegurar a sustentabilidade de sistemas de plantio direto, é fundamental. Assim, foi possível notar a presença da técnica de plantio direto do milho na região (Figuras 22 e 23).

Essa técnica tem a característica de ser um sistema de manejo qual se evita a mobilização do solo e cria um novo ambiente ecológico - diferente daquele existente no sistema convencional - que resulta em uma série de vantagens para o agricultor e para o meio ambiente. Dentre estas vantagens podem ser ressaltadas: o controle da erosão, a conservação da umidade, o controle de plantas daninhas, a melhoria da estruturação do solo e das condições fitossanitárias da cultura, assim como maior economia em adubação e maquinaria (CRUZ, 1999).

Desta forma, o sistema de plantio direto consolidou-se como uma tecnologia conservacionista, largamente aceita entre os agricultores. Seus benefícios se estendem não apenas ao solo e, conseqüentemente, ao rendimento das culturas e à competitividade dos sistemas agropecuários, mas, também, devido à drástica redução da erosão, reduz o potencial de contaminação do meio ambiente e dá ao agricultor maior garantia de renda, pois a estabilidade da produção é ampliada, em comparação aos métodos tradicionais de manejo de solo. Por seus efeitos benéficos sobre os atributos físicos,

químicos e biológicos do solo, pode-se afirmar que o plantio direto é uma ferramenta essencial para se alcançar a sustentabilidade dos sistemas agropecuários (EMBRAPA, 2000).



**Figura 22.** Área manejada para o sistema de plantio direto do milho em rotação com a soja.



**Figura 23.** Restos culturais em área colhida em sistema de plantio direto com rotação milho-soja.

### 5.4.3. Presença e Avanço da Irrigação

A produtividade de diversas culturas, como o milho, depende, em grande parte, de fatores climáticos como precipitação, radiação solar e temperatura. Na maior parte do Brasil, o regime de chuvas praticamente determina a disponibilidade de água no solo. A adoção de sistemas de irrigação para culturas agrícolas é uma prática utilizada para complementar a disponibilidade da água naturalmente promovida pela precipitação em regiões úmidas, além de tornar produtivas as regiões áridas e semiáridas, proporcionando ao solo teor de umidade suficiente para suprir as necessidades hídricas das plantas (SETTI et al, 2001; LOPES et al, 2008). A agricultura irrigada permite a obtenção de aumentos significativos da produção agrícola e, quando aplicada de forma eficiente, contribui para reduzir a expansão de plantios em áreas com cobertura vegetal natural e aumentar a duração do período anual de plantios. No entanto, nesses sistemas utilizam-se grandes quantidades de água e insumos agrícolas, como fertilizantes, inseticidas e fungicidas, para ser efetivo o aumento de sua produtividade.

No Brasil o setor de irrigação é o que possui a maior parcela de vazão retirada (cerca de 47% do total) e a maior vazão de consumida (69%) (ANA, 2009). Contudo, esta expansão se torna uma questão estratégica, uma vez que implicará em uma maior demanda pelos recursos hídricos e energéticos, além de poder causar impactos adversos ao meio ambiente, à qualidade do solo e da água, à saúde pública e ao aspecto socioeconômico da região, agravando conflitos regionais pelo uso da água.

A crescente produção agrícola do país, impulsionada pelos altos valores das commodities no mercado internacional e o aumento da demanda de alimentos no mercado interno provavelmente demandarão a expansão das áreas irrigadas no país. Estratégias para promover o aumento da produção agrícola baseadas no aumento de áreas irrigadas devem levar em consideração restrições relacionadas com a disponibilidade e conflitos de uso da água das bacias hidrográficas em que estão inseridas, considerando o manejo integrado das bacias hidrográficas de interesse (PAULINO et al, 2011). Ações estimulando a melhoria da qualidade da água, conservação de nascentes e Áreas de Preservação Permanente e planos de uso do solo em áreas vulneráveis contribuirão para melhorar a qualidade e quantidade de água disponível, podendo permitir a futura expansão

da área irrigada no país, devendo ser consideradas para a definição de políticas nacionais e estaduais de recursos hídricos envolvendo o planejamento e gestão dos recursos hídricos.

O sistema de irrigação identificado na Bacia do Ribeirão do Jacú foi a pivô central (Figuras 24 e 25). A irrigação por aspersão via pivô central é o método no qual a área é irrigada por um sistema móvel, constituído por uma barra com aspersores que se movimenta em torno de um ponto fixo.



**Figura 24.** Sistema de irrigação por aspersão (pivô) na plantação de milho.



**Figura 25.** Sistema de irrigação por aspersão (pivô) na plantação de milho.

A situação econômica atual, pela facilidade de empréstimos e financiamentos de equipamentos e insumos, fomenta o crescimento do uso de novas tecnologias que otimizem e intensifiquem a produção agrícola. A Bacia do Ribeirão do Jacú, por estar inserida em região considerada de grande potencial agrícola (na Bacia do Alto Paranapanema) e por sua proximidade de pólos de irrigação, já apresenta influências do avanço desse tipo de produção intensiva e modernizada.

A posição estratégica das culturas próximas aos reservatórios de água confere preços mais baixos à produção e aumentam a competitividade dos produtos no mercado. Esse cenário provoca um estímulo ao cultivo próximo aos cursos dos rios e aumento de áreas de represamento da água para o abastecimento dos campos de produção irrigada. Tal fato pode exercer forte pressão aos recursos hídricos, do ponto de vista quantitativo quando ocorre o bombeamento da água para a irrigação, como do ponto de vista qualitativo por carregarem nutrientes e agroquímicos para profundidade, atingindo lençóis freáticos e contaminando massas d'água. Assim, a agricultura local deve ser acompanhada por boas práticas agrônômicas e por um uso eficiente da água para que a demanda não ameace a oferta e a qualidade da água da bacia.

#### **5.4.4. Os Impactos Negativos**

##### **5.4.4.1. Canais de Drenagem**

Em diversas partes do Ribeirão do Jacú foi possível observar a ausência de mata ciliar ou pequenas Áreas de Preservação Permanente preservadas no entorno de nascentes, partes do rio e nas represas. Estas áreas encontram-se muitas vezes tomadas por cultivos e pastagens e, quando há vegetação natural preservada, elas ocorrem exclusivamente ao longo dos cursos d'água ou em encostas mais declivosas.

Fatores como a falta de mata ciliar em APP e falta de preservação adequada de nascentes, represas e leitos de rio, somado ao cultivo agrícola e pastos próximos aos corpos d'água, indicam uma possível eutrofização da água em partes do curso

do rio, sendo nítida a sua perda de qualidade ao longo da bacia, observada *in situ* (Figura 26).



**Figura 26.** Trecho do Ribeirão do Jacú.

Na região também foram identificados o descarte incorreto de resíduos sólidos, dentre eles, embalagens de produtos agrícolas, oferecendo risco iminente de contaminação dos corpos d'água (Figura 27 e 28).



**Figura 27.** Presença de resíduos sólidos à beira do rio.



**Figura 28.** Presença de resíduos da irrigação (tubos), trechos sem mata ciliar em APP com possível sedimentação e assoreamento.

A prática de atividades agrícolas e presença de pastagens em locais de APP intensificam os processos de erosão e sedimentação do solo, promovendo o carregamento de suas partículas e provocando o assoreamento dos corpos d'água (Figura 29). As zonas ripárias são responsáveis por reduzir a conexão entre a fonte de poluição potencial e o corpo de água receptor e podem fornecer uma barreira física e bioquímica contra a entrada de fontes distantes do curso d'água.



**Figura 29.** Indícios de assoreamento no Ribeirão do Jacú.

#### 5.4.4.2. Nascentes

As nascentes proporcionam a perenidade da água na bacia, proporcionando a entrada de água no leito dos rios. Nas cabeceiras é que se concentram as nascentes, que devem ser preservadas com o princípio de sustentabilidade (RODRIGUES e LEITÃO FILHO, 2003). Elas perdem a capacidade de produção de água quando o ambiente de contribuição natural de infiltração em seu entorno, área de recarga do lençol freático, é alterado por ações antrópicas que comprometem seu reabastecimento e sua produção de água (RODRIGUES, 2006).

A mata ripária desempenha influência direta na hidrologia das bacias, sendo fundamental a proteção, pois a conservação da água deve ser feita desde a fonte. Pode-se observar a falta de conservação em alguns pontos de nascentes do Ribeirão do Jacú (Figura 30 e 31).



**Figura 30.** Nascente do Ribeirão do Jacú antropizada sem a devida proteção.





**Figura 31.** Galeria por onde se escoa a água da nascente do Ribeirão do Jacú.

Na área próxima à nascente do Ribeirão do Jacú existe a presença de construções e residências, além da passagem da Rodovia SP. O constante tráfego de automóveis e caminhões, além do trânsito de pessoas e animais na área, impõe pressões nos recursos hídricos da bacia desde suas cabeceiras, perdendo qualidade progressivamente ao longo do curso do rio principal como verificado visualmente a campo.

#### **5.4.4.3. Represas**

Assim como nas nascentes, ocorre a falta de preservação e conservação das represas na Bacia do Ribeirão do Jacú (Figura 32 a 36). As represas representam uma área de represamento da água do rio, muitas vezes de forma artificial para facilitar a irrigação.

De acordo com a legislação florestal vigente, a Lei nº 12.651/2012, não é exigida a mata ciliar como APP no entorno de reservatórios artificiais de água que não decorram de barramento ou represamento de cursos d'água naturais. Naqueles que há barramento e represamento de água, a faixa de delimitação de APP é calculada de acordo com o licenciamento ambiental do empreendimento. No entanto, é notoriamente reconhecida as funções de “filtro”, dentre outras, que as matas ciliares proporcionam aos cursos d'água, atuando como coadjuvante na conservação da qualidade e quantidade das águas.



**Figura 32.** Represa sem a presença de mata ciliar preservada em seu entorno.



**Figura 33.** Represa antropizada, com presença de canos em sua margem e ausência de mata ciliar preservada.



**Figura 34.** Represa antropizada, com presença de resíduos sólidos e ausência de mata ciliar como APP em sua margem.



**Figura 35.** Descarte incorreto de resíduos sólidos e embalagens de agrotóxicos em torno da represa.



**Figura 36.** Presença de macrófitas aquáticas na represa que indicam possíveis processos de eutrofização da água.

A presença de macrófitas aquáticas na represa visitada indica possíveis processos de eutrofização da água e/ou baixa circulação de água no sistema construído para captação de água para irrigação.

#### **5.4.4.4. Exutório**

Embora toda a margem esquerda do exutório na bacia esteja recoberta por vegetação natural em APP, o Ribeirão do Jacú apresenta a sua lateral direita totalmente fora dos padrões de conservação dos cursos d'água, defendidos por lei, que deveriam recobrir no mínimo 30 metros de seu entorno, exceto em áreas consideradas como consolidadas (Figura 37). Nestas áreas, que deveriam estar preservadas por mata natural, em boa parte encontra-se invadida por áreas de pastagem (Figura 38 e 39). É possível notar, ainda, a presença de culturas permanentes, neste caso o café, na borda do rio (Figura 40).



**Figura 37.** Presença de mata ciliar em APP na margem esquerda do rio e sua ausência na margem direita.



**Figura 38.** Ausência de mata ciliar em APP na margem direita do exutório do Ribeirão do Jacú e presença de gado, representando área de pastagem em local de preservação.



**Figura 39.** Cultura de café na borda do exutório do Ribeirão do Jacú.



**Figura 40.** Gado em área de pastagem na margem do exutório do Ribeirão do Jacú.

O fator mais preocupante da ocupação agrícola e pecuária em APPs é que esta ocorre com maior frequência no lado direito do Ribeirão do Jacu, justamente a área mais vulnerável, de acordo com as características geológicas da Bacia, apontando uma tendência de degradação eminente nesta região.

### 5.5. Prognóstico Ambiental

A maior ameaça à contaminação da água subterrânea decorre das atividades agrícolas, visto que a região do Alto Paranapanema tem sua economia ligada ao setor agropecuário e, por essa razão, medidas voltadas ao estabelecimento de boas práticas agrícolas tornam-se prioritárias.

As boas práticas agrícolas constituem em um conjunto de procedimentos e recomendações para garantir a qualidade do produto agrícola além de conservar o meio ambiente por meio da utilização sustentável dos recursos naturais. Elas devem ser consideradas como um início do processo de disciplinamento territorial, sendo de grande importância detalhamento e o aprimoramento do conhecimento para um adequado planejamento da ocupação atual e futura.

Sabendo-se que a área de afloramento de um aquífero, na qual está inserida a Bacia do Ribeirão do Jacú, constitui-se em uma porção vulnerável à infiltração de contaminantes e que o SAG é um importante manancial subterrâneo, sugere-se o estabelecimento de diretrizes de caráter regional que visem à recuperação, conservação e preservação dos recursos naturais que estejam em conformidade com o Plano de Proteção Ambiental do SAG (ALBUQUERQUE FILHO, 2011), dentre eles:

- **Ocupação de áreas agrícolas:** com a ampliação de pesquisas que envolvam a contaminação da água subterrânea e o uso de agroquímicos; estímulo ao monitoramento da qualidade das águas subterrâneas em áreas rurais; implementação de ações às boas práticas agrícolas promovendo o manejo sustentável da vegetação local; efetivar o controle e fiscalização das atividades agrícolas que se utilizam de produtos poluentes; não permissão da ocupação da área por atividades que utilizem produtos tóxicos de grande mobilidade.

- **Garantia de disponibilidade hídrica:** regularização das outorgas do uso das águas subterrâneas; controle das captações de água para que não atinjam níveis de superexploração; desenvolvimento estudos detalhados para o conhecimento e quantificação da disponibilidade hídrica do SAG; incentivo ao uso racional da água; preservação de áreas de nascente; restauração de áreas de APP.

- **Prevenção e controle de processos de dinâmica superficial:** mapeamento da susceptibilidade natural à erosão local; exigências especiais para a ocupação em áreas declivosas; controle de atividades que prejudiquem as condições de estabilidade, como a retirada de vegetação; recuperação de áreas com processos erosivos já iniciados.

- **Manutenção e preservação dos remanescentes naturais:** impedimento de atividades antrópicas que resultem em impactos ou extinção de espécies da flora e fauna; condicionamento de ocupação da área com atividades que assegurem a permeabilidade do solo e que possuam parcelas de áreas verdes representativas; manutenção e a preservação de remanescentes de vegetação existentes e revegetação de locais degradados; incentivo às áreas protegidas, de áreas verdes e de equipamentos comunitários, visando a preservação de áreas florestadas; evitar o avanço de práticas agrícolas em áreas ou outras atividades que resultem em supressão das APP; fazer valer a legislação vigente de APP.

- **Saneamento ambiental:** proteção do entorno de poços ativos e tamponamento de poços inativos; instalação de aterros somente em áreas fora das áreas de afloramento através de adoção de medidas intermunicipais; incentivos e controle de permissões de instalação em infraestrutura sanitária que são essenciais ao controle e recuperação da qualidade das águas.

Sugere-se ainda a elaboração de um Plano Diretor e tratamento de esgoto, inexistentes no município de estudo (CBH-ALPA, 2011).

A execução das ações propostas está condicionada às complexidades institucionais, técnicas e financeiras, sendo fundamental a integração entre os atores envolvidos para a proteção e recuperação dos mananciais.



## 5.6. Considerações Finais

As áreas de afloramento do SAG constituem importantes entradas de água no sistema hídrico, sendo de fundamental importância para sua recarga. Essas áreas de recarga direta são regiões onde o Aquífero Guarani encontra-se mais vulnerável e o mau uso da terra pode comprometer a qualidade da água. Diversos fatores como as características estruturais do solo, tipo de cobertura, tipo de preparo do solo e manejo adequado, interferem nos processos de drenagem e recarga do aquífero.

Ao mesmo ponto que a preservação de áreas naturais e conservação dos recursos hídricos são essenciais para a manutenção da qualidade de um ecossistema, a agricultura também é fundamental para a produção de alimentos para a população. Sabendo-se que a área de estudo está inserida em uma região de alta produtividade agrícola, bem como em uma região de afloramento do SAG, faz-se necessária a adoção de sistemas de produção ambientalmente sustentáveis.

Por essas razões, conforme o Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo e da Minuta de Lei Específica, propõe-se a criação da Área de Proteção e Recuperação de Manancial da Zona de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani (APRM-SAG) através de áreas de intervenção, estabelecendo o uso da terra de forma consciente e responsável (ALBUQUERQUE FILHO et al, 2010).

Essas áreas de intervenção, já preconizada pela Lei 9.866/97 de Lei de Proteção e Recuperação dos Mananciais, podem ser divididas, segundo Albuquerque Filho et al (2010), em Áreas de Restrição à Ocupação (ARO), Áreas de Ocupação Dirigida (AOD) e Áreas de Recuperação Ambiental (ARA). A Bacia do Ribeirão do Jacu, bem como todo o município de Tejuapá, está inserida em uma AOD, onde a consolidação ou implantação de usos urbanos ou rurais devem ser condicionados a critérios que se compatibilizem com a necessária proteção das áreas vulneráveis do SAG.

A partir dessa proposta, pretende-se compatibilizar o desenvolvimento socioeconômico com a proteção e recuperação da zona de afloramento do SAG por meio da adequação e implantação de atividades compatíveis com a proteção e recuperação do manancial. Este plano se adequa e soma com a Lei de Proteção e

Recuperação dos Mananciais (Lei nº 9.866/97), com o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) que estabelece a proteção de APPs e com a Política Nacional de Irrigação (Lei nº 12.787/2013), que incentiva a ampliação da área irrigada e o aumento da produtividade em bases ambientalmente sustentáveis tendo também como uma de suas diretrizes o uso e manejo sustentável do solo e dos recursos hídricos destinados à irrigação.

Nesse escopo, tanto o do PNI como o PNRH (Plano Nacional de Recursos Hídricos) e o Código Florestal, podem ser considerados como instrumento legal potencial que apoiam o estabelecimento do mercado de serviços ambientais, baseados em água, no país. Além disso, o Governo do Estado de São Paulo, através da Lei nº 13.798/2009, legitima o Programa de Pagamento por Serviços Ambientais com o objetivo de incentivar produtores rurais a manter suas áreas com vegetação nativa e sistemas produtivos sustentáveis, como os agroflorestais e silvopastoris.

Assim o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) apóia a conversão de sistemas produtivos que vise estimular o proprietário de terra a prestar um serviço ambiental a favor da conservação e uso sustentável dos recursos naturais, principalmente às nascentes d'água. Poderá se discutir e incentivar agricultores a boas práticas e manejo racional do solo em prol da integridade dos recursos subterrâneos, gerando novas oportunidades aos agricultores, como por exemplo, a certificação de seus produtos em prol da sustentabilidade. Ações que incentivem agricultores a preservar em suas áreas tais recursos são de extrema valia para garantir o equilíbrio ecológico do ecossistema local.

Os serviços ambientais são afirmados por força de norma constitucional, no que diz ao meio ambiente ecologicamente equilibrado de bem de domínio público, uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida. Os Sistemas de PSAs que garantam a qualidade e quantidade da água para abastecimento público, por meio da intervenção na gestão da bacia hidrográfica, normalmente são focados no uso do solo, nas práticas agrícolas, no saneamento ambiental, na cobertura vegetal e na recuperação de áreas degradadas diretamente ligadas à água. Com essas intervenções positivas, é garantida a melhoria e a manutenção do serviço ambiental, a qualidade e quantidade da água.

## 6. CONCLUSÕES

A caracterização e avaliação ambiental de uma região permite a identificação da complexidade do ecossistema diante da dinâmica de sua ocupação e vulnerabilidade, permitindo, assim, um melhor proveito do uso da terra de forma sustentável e a gestão de oportunidades de acordo com a realidade local. Desta maneira, torna-se imprescindível compreender a dinâmica local e regional para tornar possível a compatibilização do desenvolvimento socioeconômico com a proteção e recuperação da zona de afloramento do SAG, através da adequação e implantação de atividades compatíveis com a proteção e recuperação do manancial.

Apesar da tendência à conservação da bacia pela baixa suscetibilidade à degradação natural sem grandes problemas com inundação, assoreamento e degradação, na Bacia do Ribeirão do Jacú ocorre uma menor tendência de escoamento superficial e maior capacidade de infiltração do solo, o que remete um maior cuidado com o uso e manejo do solo local. Considerando que as principais fontes de contaminação das águas subterrâneas estão relacionadas ao uso do solo, e neste caso em especial a agricultura, boas práticas de manejo, uso controlado de agrotóxicos e descarte correto de resíduos sólidos são imprescindíveis.

Através da classificação do uso da terra e pelo trabalho de campo, foram identificadas incompatibilidades na bacia quando considerada a exploração agrícola e

pecuária com a conservação e preservação de mananciais. Diversos pontos considerados como Área de Preservação Permanente (APP) estão ocupados por pastagens ou diferentes culturas e essa situação torna-se ainda mais preocupante quando observado que as áreas mais invadidas estão justamente à margem direita da bacia de estudo, sendo estas as de maior vulnerabilidade e maior pressão ao SAG. A supressão das matas ripárias ou de fragmentos acompanham o intenso avanço do reflorestamento para fins econômicos. O ordenamento dessas áreas de acordo com a legislação florestal vigente se torna essencial considerando como função das APPs, dentre outras, a proteção dos solos e a preservação da integridade dos recursos hídricos.

Outra importante modificação com o uso da terra no período analisado foi o avanço da agricultura irrigada na Bacia do Ribeirão do Jacú. Considerando que as culturas irrigadas utilizam quantidades significativas de água e agrotóxicos, se faz necessário o incentivo de práticas agrícolas adequadas, com o uso controlado de agroquímicos e a otimização do uso da água, visando à proteção do SAG, já que esta área se destaca como de alta vulnerabilidade de contaminação. Neste cenário, é importante considerar que a produção agrícola só é compreendida como positiva se os projetos de irrigação tiverem sustentabilidade econômica, sustentabilidade social e sustentabilidade ambiental, ou seja, se forem economicamente viáveis, socialmente responsáveis e ambientalmente sustentáveis. Esses ideais são claramente defendidos na Política Nacional de Irrigação.

O uso de imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento foram ferramentas importantes para a classificação do atual uso da terra, além de monitorar as mudanças ocorridas na bacia nos últimos anos. Os mapas gerados são úteis para serem utilizados como instrumento de gestão e planejamento da área de estudo por abordar tanto o contexto de natureza agrícola, no que se refere ao avanço da agricultura irrigada, como o ambiental, para fiscalização e recuperação de APPs. Através das informações obtidas, é possível definir prioridades na resolução de problemas e prover soluções que evitem futuros impactos aos recursos hídricos, em especial, os subterrâneos. Dentre as medidas de planejamento, é de grande importância a criação de programas que incentivem os agricultores a desenvolver ações conservacionistas.

Os resultados do estudo contribuem para se atingir uma base técnica de conhecimento e discussão de uma adequada gestão de áreas de afloramento do SAG, ao ajudar a dirigir as áreas de intervenção do SAG por complementar os dados já existentes aos planos de proteção ao SAG.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012**. Ed. Especial. Brasília, DF: ANA, 2012. 215 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009**. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/>>. Acesso em: 25 de abril de 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: ANA, 2011

ALBUQUERQUE FILHO, J. L et al. **Plano de desenvolvimento e proteção ambiental da área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo: proposta preliminar**. In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. São Luís – MA, 2010.

ALBUQUERQUE FILHO, J. S. et al. **Subsídios ao Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental da Área de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São**

**Paulo.** São Paulo. IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: CPLA – Coordenação de Planejamento Ambiental, 2011.

ALLAN, C. J.; VIDON, P.; LOWRANCE, R. Frontiers in riparian zone research in the 21st century. **Hydrological Processes**, v.2, p.3221-3222, 2008.

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do Rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões delineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 117-127, 2003.

ANSELMO, M. F. **Análise temporal da relação entre uso e ocupação do solo e situação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) marginais, na bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados, SP.** 2014. 118f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2014.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura.** Brasília: Embrapa, SPI; Embrapa, CPAC, 434 p., 1998.

ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO - ALESP. **IPRS versão 2012.** Disponível em: <<http://www.ipsipvs.seade.gov.br/view/index.php>>. Acesso em: 04 de agosto de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - ABAS. **Orientações para a utilização de águas subterrânea.** Disponível em: <<http://www.abas.org/arquivos/aguasf.pdf>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO AGRONEGÓCIO - ABAG. **Conclusões e recomendações.** In: II Congresso Aquífero Guarani. Ribeirão Preto (SP). Disponível em: <<http://www.abagr.org.br/media/pdf/projetoaquiferoguaraniconclusoes.pdf>>. Acesso em: 13 de maio de 2014.

BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO; H. F (Org.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: FAPESP, 2003. 320 p.

BARTH, F. T.; POMPEU, C. T. **Fundamentos** para gestão de recursos hídricos. In: **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo, Nobel: ABRH, 1987.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Icone, 355p., 2005.

BEZERRA, M. do C. L.; VEIGA, J. E. **Agricultura sustentável**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 190 p.,2000.

BIE, C. A. J. M. de; LEEUWEN, J. A. van; ZUIDEMA, P. A. **The land use database: a knowledge-based software program for structured storage and retrieval of userdefined land use data sets: user's reference manual**. Version 1.04 for MS-DOS. [Enschede, The Netherlands]: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation: Food and Agriculture Organization: United Nations Environment Programme: Wageningen University, 1996. 41 p. Disponível em: <<http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/LM/SUSLUP/Luse/Manual/chap2.pdf>>. Acesso em: 27 de junho de 2014.

BISHOP, K.; BUFFAN, I.; ERLANDSSON, M.; FOLSTER, J.; LAUDON, H.; SEIBERT, J.; TEMNERUD, J. Acqua Incognita: the unknown headwaters. **Hydrological Processes**, v.22, p.1239- 1242, 2008.

BORGES, L. A. C. **Aspectos técnicos e legais que fundamentam o estabelecimento das Áreas de Preservação Permanente (APP)**. 2008. 193p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2008.



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

BRASIL. Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013. **Política Nacional de Irrigação**. Legislação Federal. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2013/Lei/L12787.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12787.htm)> Acesso em: 25/03/2013.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Política Nacional dos Recursos Hídricos**. Legislação Federal. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/l9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/l9433.htm)> Acesso em: 27/03/2013.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências**. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm)>. Acesso em 25 de janeiro de 2013.

BRUINSMA, J. **The Resource Outlook to 2050. By how much do land, water and crop yields need to increase by 2050?** Expert Meeting on How to Feed the World in 2050. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. Departamento de Desenvolvimento Social e Econômico. 2009.

BURKHARD, B.; PETROSILLO, I.; COSTANZA, R. Ecosystem services – bridging ecology, economy and social sciences. **Ecological Complexity**, v.7, p.257-259, 2010.

CAMARA, G; SOUZA R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CAMPOS, N.; STUDART, T. M. C. **A cobrança pelo uso da água**. In: \_\_\_\_\_ (Org.). *Gestão de águas: princípios e práticas*. Porto Alegre: ABRH, 2001. cap. 7, p. 99-110. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/mestre\\_andressa\\_macedo.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/mestre_andressa_macedo.pdf)>. Acesso em: 24 de maio de 2014.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA - CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas - Tejuπά**. Disponível em: <[http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_608.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_608.html)>. Acesso em: 10 de agosto de 2014.

CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL - CEPAM. **Municípios paulistas – Tejuπά**. Disponível em: <<http://www.cepam.org/municipios/municipios-paulistas/tejupa.aspx>>. Acesso em: 02 de maio de 2014.

CENTRO TECNOLÓGICO/ CENTRO DE TECNOLOGIA EM GEOPROCESSAMENTO - CETEC/CTGEO. **Elaboração do Plano de Bacia do Alto Paranapanema**. Grupo de Trabalho do setor de Meio Ambiente. Fundação Paulista de Tecnologia e Educação, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas**. *Notícia Geomorfológica*, n. 18, p. 35-64, 1969.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO PARANAPANEMA- CBH-ALPA. **Situação dos recursos hídricos do Alto Paranapanema UGRHI 14: minuta preliminar do Relatório Técnico Final**. Lins (SP), 1999. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/6439/relalpaseg.pdf>>. Acesso em: 07 de janeiro de 2014.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO PARANAPANEMA - CBH-ALPA. **Deliberação nº 105, de 15 de dezembro de 2011, Plano de Bacia do Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema para o período de 2012/2015**. Pirajú (SP), 2011.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA RIO PARANAPANEMA – CBH PARANAPANEMA. **Breve Caracterização da Área do Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema.** Disponível em: <<http://paranapanema.org/ugrh/comites/sp/cbhalpa/caracterizacao/>>. Acesso em: 12 de agosto de 2013.

COMITÊ PCJ. **Detalhamento das Unidades de Gerenciamentos de Recursos Hídricos – UGRHI 14 – Alto Paranapanema.** Disponível em: <[http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/PERH/04-07\\_UGRHI-14.pdf](http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/PERH/04-07_UGRHI-14.pdf)>. Acesso em: 25 de setembro de 2014.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Relatório de qualidade de águas subterrâneas do Estado de São Paulo 2007-2009.** São Paulo: CETESB, 2010.

CORREA, J. B. L. **Quantificação das Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal e de seus impactos econômicos na bacia do rio Pomba em Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

COSTA, W. D. Uso e gestão de água subterrânea, In: **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** CPRM/REFO-UFPE, Fortaleza, Ceará, p 341-67, 2000.

CRUZ, J. C. No plantio direto o milho é o melhor. **Revista Cultivar Grandes Culturas.** Ed. 08, 1999. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/site/content/artigos/artigos.php?id=50>>. Acesso em: 21 de abril de 2014.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. **Usos dos recursos hídricos do Estado de São Paulo** - Tejuπά. Disponível em: <<http://www.aplicacoes.dae.sp.gov.br/usuarios/DaeewebDpo.html>>. Acesso em: 05 de agosto de 2013.

DUARTE, J. O.; GARCIA, J. C.; MIRANDA, R.A. **Cultivo do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 7<sup>a</sup> edição, 2011.

ELMORE, W.; BESCHTA, R. L. Riparian areas: perceptions in management. **Rangelands**, p. 260-265, 1987.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Impacto ambiental e implicações sócio-econômicas da agricultura intensiva em água subterrânea**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 26 p. 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manejo de Solos**. Embrapa Milho e Sorgo. 2000. Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_1\\_ed/mandireto.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_1_ed/mandireto.htm)>. Acesso em: 20 de maio de 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani e implicações na qualidade da água subterrânea**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2002, 38 p.

FAIL, J. L.; HAINES, B. L.; TODD, R. L. Riparian forest communities and their role in nutrient conservation in an agriculture watershed. **American Journal of Alternative Agriculture**, v.2, p.114-121, 1987.

FEITOSA, A. C; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 2 ed. Fortaleza, CPRM/REFO, LABHID – UFPEL, 2000.

FERREIRA, A.B.; SANTOS, C.R.; BRITO, J.L.S.; ROSA, R. **Análise comparativa do uso e ocupação do solo na área de influência da Usina Hidrelétrica Capim Branco I a partir de técnicas de geoprocessamento**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, INPE, p. 2997-3004, 2005.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de textos, 2008, 160 p.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011, 128 p.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento/Banco Mundial. São Paulo: Servmar, 2006.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. 1968. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1968.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2012.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE. **Taxas de Urbanização do Município de Paranapanema – SP**, 2010. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/retratosdesp/view/index.php>>. Acesso em: 12 de agosto de 2013.

GANDOLFI, P. A. **Investigações sedimentológicas, morfométricas e fisio-químicas nas bacias do Mogi-Guaçu, do Ribeira e do Peixe**. Tese (Livre Docência em)- Departamento de Geologia e Mecânica dos Solos, EESC-USP, São Carlos, 1971.

GIBBS, H. K. et al. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. **Proceedings of National Academy of Sciences**, v. 107, n.38, 16732-16737, 2010.

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C.; LANCHOTTE, V. L. Ocorrência do herbicida tebuthiuron na água subterrânea da microbacia do Córrego Espraiado, Ribeirão Preto-SP. **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.11, p.65-76, 2001.

GOMES, M. A. F.; NEVES, M. C.; SPADOTTO, C. A.; LUIZ, A. J. B. Mapeamento expedito dos potenciais de infiltração e de escoamento superficial da água para os solos da microbacia do Córrego do Espraiado em Ribeirão Preto-SP. In: Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo, 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Campinas: SBCS/ESALQ. 4p. (CD-ROM), 1996.

GOTTLE, A.; SENE, E. H. Forest functions related to protection and environmental conservation. In: **Unasyva Journal**. Eleventh World Forestry Congress. 1997. Antalya. FAO, vol. 48/3-4.p 190-191. 1997. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/w6251e/w6251e06.htm>>. Acesso em 03 de julho de 2013.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

HIRATA, R. e FERNANDES, A. J. Vulnerabilidade à poluição de aquíferos. In: LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, LEÃO, T. P. Carga do solo a partir da avaliação da resistência à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, 2008. p. 217-223.

HIRATA, R. **Fundamentos e Estratégias de Proteção e Controle da Qualidade das Águas Subterrâneas. Estudo de Casos no Estado de São Paulo**, USP - Instituto de Geociências, São Paulo, 1994.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**. v. 56, n.3, p. 275-370, 1945.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=355420>>. Acesso em: 27 de outubro de 2013 (a).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2013 (b).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Escala 1: 500.000. São Paulo, 1974.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO - IPT. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:500.000. São Paulo, 1999 (a).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. Escala 1: 500.000. São Paulo, 1999 (b).

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Divisão de Processamento de Imagens - DPI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **“Introdução ao SPRING”**. CD-ROM, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. . **SPRING**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>>. Acesso em: 05 de julho de 2012.

INVENTÁRIO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa Florestal dos Municípios do Estado de São Paulo**: Tejuπά. Disponível em: <<http://s.ambiente.sp.gov.br/sifesp/tejupa.pdf>>. Acesso em: 05 de agosto de 2013.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**. 3.ed. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA, 2012, 104 p.

JACINTHO, L. R. C. **Geoprocessamento e sensoriamento remoto como ferramentas na gestão ambiental de Unidades de Conservação**: O caso da Área de Proteção Ambiental (APA) do Capivari-Monos, São Paulo-SP. 2003. Folhas. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river – floodplain systems. **Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v. 106, p. 110, 1989.

KARK, S.; Van RENSBURG, B. J. **Ecotones**: Marginal or central areas of transition? **Israel Journal of Ecology and Evolution**, Jerusalem, v. 52, p. 29 – 53, 2006.

KÖPPEN, W. **Die Klimate der Erde. Grundriss der Klimakunde**. Walter de Gruyter, Berlin, 1923.

LANA, C. L.; ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Análise morfométrica da Bacia do Rio Tanque, MG – Brasil. **Revista da Escola de Minas**. v.54, n. 2, p. 121-126, 2001.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI, R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso**. 5ª Aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.



LIMA, W. P. **Função hidrológica da mata ciliar**. In: Simpósio sobre mata ciliar. Fundação Cargill, 1989. p 25-42.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H.F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/Fapesp, 2000. p.33-44.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. O papel do ecossistema ripário. In: LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. (Org.). **As florestas plantadas e a água: Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento**. São Carlos: RiMa p. 77-87, 2006.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba: USP, 2008, 245 p.

LOPES, J. F.; ANDRADE, E. M.; CHAVES, L. C. G. Impacto da irrigação sobre os solos de perímetros irrigados na Bacia do Acaraú, Ceará, Brasil. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 28, n. 1, p. 34-43, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v28n1/a04v28n1.pdf>>. Acesso em: 16 abril 2014.

LOWRANCE, R. et al. **Water quality functions of riparian forest buffers in Chesapeake Bay watersheds**. **Environmental Management**, v.21, p.687-712, 1997.

MATALLO et al. Lixiviação dos herbicidas tebutiuron e diuron em colunas de solo. **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.13, p. 83-90, 2003.

MATALLO, M. B.; SPADOTTO, C. A.; LUCHINI, L. C.; GOMES, M. A. F. Sorption, degradation and leaching of tebutiuron and diuron in soil columns. **Journal of Environmental Science and Health**, v.40, p.39-43, 2005.

MATSON, P. A.; PARTON, W. J.; POWER, A. G.; SWIFT, M. J. Agriculture intensification and ecosystem properties. **Science**, v.277, p.504-509, 1997.

MOREIRA, L. **Análise morfométrica e biodiversidade da vegetação na microbacia hidrográfica da Fazenda Experimental Edgárdia**. 2007. Folhas. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade Estadual Paulista – UNESP, Botucatu, 2007.

MOREIRA, M. A.; ADAMI, M.; BARROS, M. A.; RUDORFF, B. F. T. Emprego de imagens do TM/Landsat-5 e da abordagem de classificação híbrida para mapear áreas de citros no estado de São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009. Natal. RN. **Anais...Natal**: INPE, p. 309-316, 2009.

MOTA, S. **Urbanização e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro, ABES, 1999.

NAIMAN, R. J.; DÉCAMPS, H. The ecology of interfaces: riparian zones. **Annual Review Ecological System**, v.28, p.621-658, 1997.

ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS – OEA. **Aquífero Guarani: programa estratégico de ação. Aquífero Guarani: programa estratégico de acción**. Edição Bilingue. OEA: Brasil; Argentina; Paraguai; Uruguai, 2009, 424 p.

PAULINO, J.; FOLEGATTI M. V.; ZOLIN, C. A.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; JOSÉ, J. V. Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o Censo Agropecuário 2006. **Irriga**, Botucatu, v.16, n. 2, 2011. Disponível em: <<http://200.145.140.50/index.php/irriga/article/viewFile/201/113>>. Acesso em: 13 de agosto de 2014.

PERT, P. L.; BUTLER, J. R. A.; BRODIE, J. E.; BRUCE, C.; HONZAK, M.; KROON, F. J.; METCALFE, D.; MITCHELL, D.; WONG, G. A catchment-based approach to mapping hydrological ecosystem services using riparian habitat: a case study from the Wet Tropics, Australia. **Ecological Complexity**, v.7, p.378-388, 2010.

PESSOA, M. C. P. Y.; GOMES, M. A. F.; DORNELAS DE SOUSA, M.; NICOLELLA, G.; CERDEIRA, A. L.; MONTICELLI, A. Simulação do movimento de herbicidas

utilizados no monocultivo de cana-de-açúcar em Areia Quartzosa da área de recarga do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto, SP. **Revista Científica Rural**, v.3, n.2, p.11-19, 1998.

PESSOA, M. C. P. Y.; GOMES, M. A. F.; DORNELAS DE SOUSA, M.; NICOLELLA, G.; CERDEIRA, A. L.; MONTICELLI, A. Simulação do movimento de herbicidas utilizados no monocultivo de cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho-Escuro da área de recarga do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto, SP. **Revista Científica Rural**, v. 4, n.1, p.15-24, 1999.

PESSOA, M. C. P. Y.; GOMES, M. A. F.; NEVES, M. C.; CERDEIRA, A. L.; DORNELAS DE SOUSA, M. Identificação de áreas de exposição ao risco de contaminação de águas subterrâneas pelos herbicidas atrazina, diuron e tebutiuron. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.13, p.111- 122, 2003.

PISSARA, T. C. T; POLITANO, W; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 28: 297-305, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TEJUPÁ. **São Paulo**. Disponível em: <<http://tejupa.sp.gov.br/nossa-cidade.php>>. Acesso em: 02 de junho de 2014.

RAMANKUTTY, N., GIBBS, H. K., ACHARD, F., DEFRIES, R., FOLEY, J. A., HOUGHTON, R. A. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. **Global Change Biology**, v.13, p. 51-66, 2007.

RIBEIRA, F. **Calidad, contaminación y protección de acuíferos**. In: III Curso Hispanoamericano de Hidrología Subterránea, 4 de outubro a 3 de dezembro de 2004, Montevideo-UY, 2004.

RICORDI, A. D. **Desafíos para la gestión integrada de los recursos hídricos**. Lima, Peru: Comisión Económica Para América Latina Y El Caribe, 222 p., 1994.

ROCHA, P. C.; ARAÚJO, A. P. **O regime hidrológico na bacia do Rio Paranapanema: variabilidade interanual e espacial.** In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011 – Alagoas, Maceio. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/477af68c881c326d0afec574c7255448\\_7e5d56cf488cea7cdca41b47a435c2c2.pdf](https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/477af68c881c326d0afec574c7255448_7e5d56cf488cea7cdca41b47a435c2c2.pdf)>. Acesso em: 17 de outubro de 2013.

RODRIGUES, T. R. I.; ROCHA, A. M.; FILHO, A. P. Mapeamento de uso e ocupação das terras na Bacia do Baixo Curso do Rio São José do Dourados-SP por Sistemas de Informações Geográficas e imagem de satélite. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. 2007. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 21-26 abril 2007. p. 6091-6097, 2007.

RODRIGUES, V. A. et al. Morfometria da microbacia Ribeirão das Araras. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal.** Garça, SP. Ano XI. V.21. N1, 2013.

RODRIGUES, V. A. **Morfometria e mata ciliar da microbacia hidrográfica.** In: Anais do VIII Workshop em Manejo de Microbacias Hidrográficas. UNESP. Botucatu. p.7-18, 2004.

RODRIGUES, V. A. **Recuperação de nascentes em microbacias da cuesta de Botucatu.** In: Manejo de Microbacias Hidrográficas: experiências nacionais e internacionais. Botucatu. FEPAF, 5-27p., 2006.

RODRIGUEZ, A. C. M. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados na análise da legislação ambiental no município de São Sebastião-SP. 2005. Folhas.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental - teoria e prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SÃO PAULO. Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. **Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos, bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos.** São Paulo, 1991. Disponível em: <[http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/leis/1991\\_Lei\\_Est\\_7663.pdf](http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/leis/1991_Lei_Est_7663.pdf)>. Acesso em: 16 de maio de 2013.

SÃO PAULO. Lei nº 9.866, de 28 de novembro de 1987. **Proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do Estado de São Paulo.** Legislação Estadual. Disponível em: <<http://governo-sp.jusbrasil.com.br/legislacao/170520/lei-9866-97>> Acesso em: 31/01/2014.

SÃO PAULO. Lei nº. 13.798, de 9 de novembro de 2009. **Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas – PEMC.** São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/pemc/index.php>>. Acesso em: 16 de maio de 2013.

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: Agência Nacional de Águas, 2001. Disponível em: <[http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/livro\\_Introd-Gerenc-Rec-Hidr.pdf](http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/livro_Introd-Gerenc-Rec-Hidr.pdf)>. Acesso em: 7 de março de 2014.

SILVA, L. et al. **Identificação e mapeamento dos conflitos de uso na bacia de drenagem do açude Soledade, usando sensoriamento remoto e Sistema de Informação Geográfica.** 2006. Disponível em: <[http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo1/053.pdf](http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo1/053.pdf)>. Acesso em: 15 de junho de 2014.

SISTEMA AMBIENTAL PAULISTA. **Área de proteção ambiental perímetro Tejujá.** Sobre a APA. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/apa-corumbatai-botucatu-tejupa-perimetro-tejuba/sobre-a-apa/>>. Acesso em: 05 de agosto de 2013.

SKIDMORE, A. K. **Environmental modelling with GIS remote sensing**. London: Taylor and Francis Group, USA and Canada: Routledge. 268 p., 2002.

SKORUPA, L. A. **Áreas de Preservação Permanente e Desenvolvimento Sustentável**. EMBRAPA – Meio Ambiente. Jaguariúna. 04 p., 2003.

SOLDERA, B. C. **Monitoramento dos níveis freáticos do Aquífero Bauru (Formação Adamantina) no município de Assis– SP**. 2011. Folhas. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Geografia), Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Ourinhos, Ourinhos/SP, 2011.

SOUSA JUNIOR, G. A. de. **Zoneamento da faixa tampão do reservatório da UHE Camargos e avaliação de sua regeneração natural**. 2005. Folhas. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SPADOTTO, C. A.; GOMES, M. A. F.; HORNSBY, A. G. Pesticide leaching potential assessment in multi-layered soils. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 12, p. 1-12, 2002.

SPALDING, R. F.; EXNER, M. E. Occurrence of nitrate in groundwater: a review. **Journal of Environmental Quality**, v.22 p. 392–402, 1993.

STRAHLER, A. N. Quantitative analyses of watershed geomorphology. **Transactions of American Geophysical Union**, Washington, v.38 p. 913-920, 1957.

TEODORO, V. L. I.; TEXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, Araraquara, n. 20, p. 137-156, 2007.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 631 p., 2008.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. **GEO Latin America and the Caribbean environment outlook**. Mexico City. Regional Office for Latin America and the Caribbean, 2000.

UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME - UNESCO. **Os recursos hídricos do planeta estão sob pressão do crescimento rápido das demandas por água e das mudanças climáticas, diz novo Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (WWDR4)**. 2012. Disponível em: <[http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Brasilia/pdf/WWDR4%20Background%20Briefing%20Note\\_pt\\_2012.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Brasilia/pdf/WWDR4%20Background%20Briefing%20Note_pt_2012.pdf)>. Acesso em: 30 de julho de 2014.

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

VIEIRA, V. P. P. B.; GONDIM FILHO, J. G. C. Água no semi-árido. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil**; capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras Editora, 3.ed. p. 481-540, 2006.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245p.

WALKER, J.; ALEXANDER, D.; IRONS, C.; JONES, B.; PENRIDGE, H.; RAPPORT, D. Catchment health indicators: as overview. In: WALKER, J.; REUTER, D. J. (Ed.). **Indicators of catchment health**: a technical perspective. Melbourne: CSIRO, 1996. p. 3-18.