Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades

unesp

Mestrado
Engenharia Civil e Ambiental

MARIANA CASSIANO FERREIRA

PROPOSTA PARA O USO E MANEJO SUSTENTÁVEL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO GUARATINGUETÁ, SP.

Bauru
2011

MARIANA CASSIANO FERREIRA

PROPOSTA PARA O USO E MANEJO SUSTENTÁVEL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO GUARATINGUETÁ, SP.

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Geotecnia.

Orientadora: Prof[a]. Dr[a]. Isabel Cristina de Barros Trannin

Bauru
2011

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE BAURU
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE MARIANA CASSIANO FERREIRA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 04 dias do mês de março do ano de 2011, às 10:00 horas, no(a) UNESP - GUARATINGUETÁ, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. ISABEL CRISTINA DE BARROS TRANNIN do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Guaratingueta, Profa. Dra. SUELI YOSHINAGA PEREIRA do(a) Departamento de Geologia e Recursos Naturais / Instituto de Geociências - UNICAMP, Prof. Dr. SILVIO JORGE COELHO SIMOES do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Guaratingueta, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a argüição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de MARIANA CASSIANO FERREIRA, intitulada "PROPOSTA PARA O USO E MANEJO SUSTENTÁVEL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO GUARATINGUETÁ-SP". Após a exposição, a discente foi argüida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Profa. Dra. ISABEL CRISTINA DE BARROS TRANNIN

Profa. Dra. SUELI YOSHINAGA PEREIRA

Prof. Dr. SILVIO JORGE COELHO SIMOES

Ferreira, Mariana Cassiano.

Proposta para o uso e manejo sustentável da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, SP / Mariana Cassiano Ferreira, 2011.

124 f. il.

Orientadora: Isabel Cristina de Barros Trannin

Dissertação (Mestrado)– Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2011.

1. Manejo Sustentável 2. Sistema de Informação Geográfica 3. Planejamento Ambiental. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

Dedico este trabalho
aos meus pais, Márcia e Vladimir,
a minha irmã Carolina e a minha avó Maria das Graças,
pelo amor incondicional e pelo incentivo que sempre me deram,
não me deixando desanimar por maiores que fossem os meus desafios.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar a vida e capacidade de concluir mais essa etapa da minha vida, me colocando em desafios que me engrandeceram pela eternidade;

Ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil da UNESP;

A CAPES pelo apoio financeiro, que me possibilitou dedicação exclusiva para a realização deste trabalho;

À Profª. Drª. Isabel Cristina de Barros Trannin minha eterna gratidão, pela orientação, pelos conhecimentos compartilhados e pelos ensinamentos que levarei por toda a vida;

Ao Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho, pelo exemplo de profissional e pessoa, pela confiança e amizade;

A todos os Professores que passaram pela minha vida e que de alguma forma me serviram de exemplo;

A Prefeitura Municipal de Guaratinguetá; ao Secretário de Agricultura e Meio Ambiente Washington Agueda; ao Engenheiro Agrônomo Marcos Martinelli da CATI; ao Dr. André Luis de Paula Marques, do SAEG e a todos aquele que integram a rede de parceiros e colaboradores envolvidos no projeto de revitalização do ribeirão Guaratinguetá;

À minha mãe Márcia e meu pai Vladimir, pelo exemplo de vida, pela dedicação na minha criação e educação e por fazerem parte da minha história;

À minha irmã Carolina pela cumplicidade, pela amizade e por estar presente para me ajudar e apoiar em todos os momentos;

A toda minha família, pelo apoio incondicional, compreensão e dedicada atenção, em especial a minha avó Gracinha e minha tia Jan, pelos conselhos iluminados;

Ao Rafael, pelo companheirismo e pelo amor eterno, e aos seus pais, Inês e Ismar, pelo apoio e incentivo;

Aos amigos que cativei ao longo da vida, pela amizade e compreensão. Agradeço em especial à amiga Deyse e sua família, pelos conselhos e pelo apoio nos momentos mais tortuosos;

As meninas da república, Fezinha, Nati, Pig e Bi, pelos momentos maravilhosos que compartilhamos, pela amizade constituída e pelo carinho em todos os momentos;

Ao Drº. Paulo Valladares Soares, pelas oportunidades e por me permitir fazer parte de um dos seus sonhos, me fazendo acreditar que eles valem à pena e nos tornam grandiosos;

E a todos os seres que passaram pela minha vida, compartilhando sentimentos, valores, conhecimentos, e que estarão eternamente guardados em minha memória.

“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo,
qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim.”

Francisco Cândido Xavier

RESUMO GERAL

FERREIRA, Mariana Cassiano. **Proposta para o uso e manejo sustentável da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, SP.** Bauru: UNESP, 2011. 108p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental).

Este estudo faz parte de um amplo projeto, que tem como objetivo a revitalização da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Civil da FEG/UNESP, em parceria com a Prefeitura Municipal de Guaratinguetá. O ribeirão Guaratinguetá é o manancial de abastecimento do município e nos últimos anos vem apresentando graves problemas ambientais, como processos erosivos em suas margens, que causam assoreamento, enchentes e decréscimo da qualidade da água, resultantes, principalmente, do uso e manejo inadequados do solo. Diante deste cenário, esse estudo teve como objetivo caracterizar os aspectos ambientais do meio físico, delimitar as áreas de preservação permanente (APPs), determinar a capacidade de uso das terras e propor a adequação do uso das terras e o macrozoneamento desta bacia hidrográfica, onde se destacam as atividades agropecuárias. Para isso, utilizaram-se técnicas de geoprocessamento, empregando-se o software ArcGIS® versão 9.2 do Sistema de informações Geográficas (SIG). Verificou-se que o ribeirão Guaratinguetá possui formas complexas de drenagem, com superposição de anastomosamento e meandramento. As APPs cobrem 17,9% da área total da bacia, dos quais 56,2% estão sendo utilizados por atividades agropecuárias, que não atendem a legislação vigente. Considerando a capacidade de uso das terras, a bacia apresenta potencial agrícola, sendo que cerca de 63,3% de sua área pertence aos grupos A e B de capacidade de uso, que incluem as classes II, III e IV de terras aptas aos cultivos agrícolas; classes V, VI e VII, que são terras aptas às pastagens e à silvicultura e, em alguns casos com problemas para a conservação das terras, necessitando de práticas especiais de manejo e 36,7% de sua área pertence ao grupo C e classe VIII, de terras impróprias para qualquer tipo de uso e reservadas à preservação da flora e da fauna. O macrozoneamento agroambiental indicou que 37,9% da área da bacia apresenta aptidão agrícola, enquanto 45,2% é ocupada por terras destinadas à conservação ambiental, restando 14,9% para uso com pastagem ou silvicultura, e apenas 1,4% de áreas adequadas à ocupação urbana. Estes resultados evidenciaram que apesar de seu potencial agrícola, esta bacia apresenta uma grande proporção de áreas ambientalmente frágeis, cuja preservação é de relevante interesse para a manutenção da qualidade dos recursos naturais, da biodiversidade e para se tornar um ambiente equilibrado e sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Manejo Sustentável, Planejamento Ambiental, SIG, Bacias Hidrográficas.

GENERAL ABSTRACT

FERREIRA, Mariana Cassiano. **Proposal for the sustainable use and management of Guaratinguetá stream basin in São Paulo State.** Bauru: UNESP, 2011. 108p. (Dissertation – Master in Civil and Environmental Engineering).

This study is part of a larger project, which aims to revitalize the strem basin Guaratinguetá, developed by the Department of Civil Engineering, FEG / UNESP, in partnership with the Prefeitura de Guaratinguetá. The stream Guaratinguetá is the source of supply for the city and in recent years she has had serious environmental problems such as erosion along its banks, causing siltation, flooding and decreased water quality, resulting mainly from inappropriate use and management of soil. Against this backdrop, this study aimed to characterize the environmental aspects of the environment, defining the permanent preservation areas (APPs), ending the ability of land use and suggest the appropriateness of land use and macro-zoning of the watershed where stand out agricultural activities. For this, we used GIS techniques, using the software ArcGIS® version 9.2 of the Geographic Information System (GIS). It was found that the stream has Guaratinguetá complex forms of drainage, with superposition of anastomoses and meandering. The APPs cover 17.9% of total catchment area, of which 56.2% are being used by agricultural activities, which do not meet current legislation. Considering the ability of land use, the basin has potential agricultural, with about 63.3% of its area belongs to groups A and B use capability, including the Class II, III and IV of land suitable for cultivation agricultural land classes V, VI and VII, which is land suitable for forestry and pasture, and in some cases with concern for the conservation of land, requiring special management practices and 36.7% of its area belongs to group C and Class VIII land unfit for any type of use and reserved for the preservation of flora and fauna. The macrozoning agri-environmental indicated that 37.9% of the basin area has agricultural capability, while 45.2% is occupied by land used for conservation, leaving 14.9% for use with grazing or forestry, and only 1.4% of suitable areas for urban occupation. These results showed that despite its agricultural potential, this basin presents a large proportion of environmentally fragile areas whose preservation is of considerable interest to maintain the quality of natural resources, biodiversity, and to become a balanced and sustainable environment.

KEYWORDS: Sustainable Management, Environmental Planning, GIS, Watershed.

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 – A bacia hidrográfica como unidade de planejamento..... 4
Figura 2 – Esquema de um modelo conceitual de análise..... 17

CAPÍTULO 2

Figura 1 – Padrões de drenagem em cursos de água..... 26
Figura 2 – Localização da área de estudo..... 29
Figura 3 – Modelo digital de elevação 3D da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá..... 32
Figura 4 – Mapa Geológico do Estado de São Paulo, com recorte da área de estudo..... 33
Figura 5– Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, com recorte da área de estudo..... 35
Figura 6 – Mapa da rede de drenagem da bacia do ribeirão Guaratinguetá..... 36
Figura 7 – Ilhotas e outros depósitos no interior do ribeirão Guaratinguetá (a) e seixos transportados no ribeirão Guaratinguetá (b)..... 38
Figura 8 – Gráfico de velocidade média da água, considerando o diâmetro das partículas e a condição do material particulado em um curso d'água..... 39

CAPÍTULO 3

Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá na bacia do Rio Paraíba do Sul, porção paulista..... 46
Figura 2 – Mapa de compartimentação das microbacias da bacia do ribeirão Guaratinguetá..... 47
Figura 3 – Mapas de levantamento do meio físico da bacia do ribeirão Guaratinguetá: mapa de drenagem (a) e mapa de declividade (b)..... 48
Figura 4 – Modelo Digital de Elevação da bacia do ribeirão Guaratinguetá..... 49
Figura 5 – Mapa de Uso e Ocupação do solo da bacia do ribeirão Guaratinguetá... 51
Figura 6 – Uso e ocupação do solo em Áreas de Preservação Permanente da bacia do ribeirão Guaratinguetá..... 53

CAPÍTULO 4

Figura 1 – Delimitação da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá..... 62
Figura 2 – Mapa pedológico da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (SP). 64
Figura 3 – Mapa de classes de declividade da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (SP)..... 67
Figura 4 – Distribuição dos níveis categóricos do Sistema de Capacidade de Uso das Terras em: grupos, classes, subclasses e unidades de capacidade de uso..... 71
Figura 5 – Mapa de capacidade de uso das terras da bacia do ribeirão Guaratinguetá (SP)..... 75

CAPÍTULO 5

Figura 1 – Elementos envolvidos na proposta de macrozoneamento da bacia do ribeirão Guaratinguetá..... 89
Figura 2 – Mapa de adequação de uso das terras da bacia do ribeirão Guaratinguetá (SP)..... 92
Figura 3 – Mapa de macrozoneamento proposto para a bacia do ribeirão Guaratinguetá (SP)..... 95

ANEXO 2

Figura 1 – Fluxograma da metodologia utilizada no capítulo 3..... 107

ANEXO 3

Figura 1 – Fluxograma da metodologia utilizada no capítulo 4..... 108

ANEXO 4

Figura 1 – Fluxograma da metodologia utilizada no capítulo 5..... 109

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 – Caracterização dos grupos e das classes de capacidade de uso do solo..... 14

CAPÍTULO 2

Tabela 1 – Classes de solo da sub-bacia do ribeirão Guaratinguetá..... 30

CAPÍTULO 3

Tabela 1 – Uso e ocupação do solo e as respectivas áreas que ocupam na sub-bacia do ribeirão Guaratinguetá..... 52

Tabela 2 – Uso e ocupação do solo nas APPs da sub-bacia do ribeirão Guaratinguetá..... 54

CAPÍTULO 4

Tabela 1 – Classes de solo e respectivas áreas que ocupam na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá..... 63

Tabela 2 – Classes de declividade adotadas para o estudo da capacidade de uso das terras da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá..... 68

Tabela 3 – Uso e ocupação do solo e as respectivas áreas que ocupam na bacia do ribeirão Guaratinguetá..... 69

Tabela 4 – Distribuição das classes de capacidade de uso das terras nas diferentes classes de solo da bacia do ribeirão Guaratinguetá (SP)..... 74

Tabela 5 – Fertilidade dos solos da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (SP)..... 76

Tabela 6 – Granulometria dos solos da bacia do ribeirão Guaratinguetá (SP)..... 76

CAPÍTULO 5

Tabela 1 – Áreas adequadas, inadequadas e subutilizadas da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (SP)..... 90

Tabela 2 – Macrozoneamento proposto para a bacia do ribeirão Guaratinguetá (SP)..... 93

ANEXO 1

Tabela 1 – Grau de limitação ao uso devido à erodibilidade do solo e classes de declive..... 99

Tabela 2 – Grau de limitação ao uso devido à erodibilidade dos solos da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (SP)..... 100

Tabela 3 – Grau de limitação ao uso do solo devido à pedregosidade em função da porcentagem de fragmentos grosseiros em relação à massa de solo 101

Tabela 4 – Grau de limitação ao uso do solo devido à rochosidade em função da porcentagem de matacões e afloramentos rochosos em relação à massa do solo..... 101

Tabela 5 – Grau de limitação à mecanização do solo em função da classe de declividade, risco de inundação e/ou pedregosidade..... 101

Tabela 6 – Grau de limitação devido ao risco de geada em função da posição no relevo..... 102

Tabela 7 – Grau de limitação ao uso do solo devido ao risco de inundação em função da duração e frequência da inundação..... 103

Tabela 8 – Graus de limitação devido à profundidade efetiva..... 103

Tabela 9 – Graus de limitação devido à disponibilidade de água..... 104

Tabela 10 – Grau de limitação devido à drenagem interna ou excesso de água..... 104

Tabela 11 – Grau de limitação devido à disponibilidade de nutrientes em função da saturação de bases (V%) e da capacidade de troca de cátions – CTC (T)..... 105

Tabela 12 – Graus de limitação referentes à fixação de fósforo..... 106

Tabela 13 – Graus de limitação devido à toxicidade por alumínio em função da capacidade de troca catiônica (T) e da saturação de alumínio..... 106

SUMÁRIO

RESUMO GERAL ..... **I**

GENERAL ABSTRACT ..... **II**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **III**

ÍNDICE DE TABELAS ..... **V**

SUMÁRIO ..... **VII**

CAPÍTULO 1 ..... **1**

1.1. INTRODUÇÃO GERAL 1
1.2. REFERENCIAL TEÓRICO 3
1.2.1. A bacia hidrográfica *3*
1.2.2. A bacia hidrográfica como unidade de planejamento *5*
1.2.3. O Código Florestal e as Áreas de Preservação Permanente *8*
1.2.4. Planejamento do uso do solo *11*
1.2.5. Capacidade de uso do solo *12*
1.2.6. Sistemas de Informações Geográficas (SIG) *15*
1.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 18

CAPÍTULO 2 ..... **24**

2.1. INTRODUÇÃO 26
2.2. MATERIAIS E MÉTODOS 29
2.2.1. Localização da área de estudo *29*
2.2.2. Caracterização do Meio físico *30*
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 33
2.3.1. Geologia e Geomorfologia *33*
2.3.2. Densidade de Drenagem *35*
2.3.3. Geomorfologia Fluvial *36*
2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS 40
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 41

CAPÍTULO 3 ..... **43**

3.1. INTRODUÇÃO 45
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS 46
3.2.1. Localização da área de estudo *46*
3.2.2. Caracterização do Meio Físico *47*
3.2.3. Levantamento do uso e ocupação do solo *50*
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 51
3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS 55
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 56

CAPÍTULO 4 ..... **58**

4.1. INTRODUÇÃO 60
4.2. MATERIAL E MÉTODOS 61
4.2.1. Delimitação da área da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá *61*
4.2.2. Caracterização do meio físico da bacia do ribeirão Guaratinguetá *62*
4.2.3. Caracterização socioeconômica da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá *69*
4.2.4. Aplicação do Sistema de capacidade de uso das terras *70*
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 74
4.3.1. Capacidade de uso das terras da bacia do ribeirão Guaratinguetá *74*
4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS 80
4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 81

CAPÍTULO 5 84

5.1. INTRODUÇÃO 86
5.2. MATERIAL E MÉTODOS 88
5.2.1. Mapa de adequação do uso das terras 88
5.2.2. Mapa de macrozoneamento da bacia 88
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 89
5.3.1. Adequação do uso das terras 89
5.3.2. Macrozoneamento agroambiental da bacia 93
5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS 95
5.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 97

ANEXO 1 99

ANEXO 2 107

ANEXO 3 108

ANEXO 4 109

CAPÍTULO 1

1.1. INTRODUÇÃO GERAL

O uso e ocupação do solo, o manejo e a preservação de bacias hidrográficas tornaram-se temas relevantes nos últimos anos, visto que, as consequências da falta de proteção de áreas de preservação permanente (APPs) e de planejamento para o desenvolvimento das atividades econômicas têm causado a crescente escassez e a deterioração dos recursos naturais. Neste sentido, as bacias hidrográficas têm sido adotadas como unidades físicas de reconhecimento, caracterização e avaliação, a fim de facilitar a abordagem sobre os recursos hídricos. Vilaça et al. (2009) consideram que o comportamento de uma bacia hidrográfica ao longo do tempo pode ser alterado por dois fatores, sendo eles, de ordem natural, responsáveis pela pré-disposição do meio à degradação ambiental e antrópicos, onde as atividades humanas interferem de forma direta ou indireta no funcionamento da bacia. Além disso, com a subdivisão de uma bacia hidrográfica de maior ordem em seus componentes (sub-bacias hidrográficas), as transformações de condições difusas de problemas ambientais para condições pontuais, facilitam sua identificação, seu controle e o estabelecimento de prioridades para a atenuação ou mitigação dos impactos ambientais provocados pelas atividades antrópicas. Segundo Beltrame (1994), o diagnóstico da situação real em que se encontram os recursos naturais em dado espaço geográfico, passa a ser um instrumento necessário em um trabalho de preservação e conservação.

No caso da bacia do Rio Paraíba do Sul, existem vários fatores políticos, institucionais e ambientais de complexidade para o estabelecimento de diretrizes ao desenvolvimento sustentável e à gestão das águas. Entre estes fatores, estão o aumento progressivo dos processos de urbanização e industrialização; o fornecimento de cerca de 80% da água consumida pela região metropolitana do Rio de Janeiro e a intensa atividade industrial e agrícola da região. Em razão de tais fatores, a associação de municípios e os órgãos públicos estaduais e federais têm reunido esforços e ações para viabilizar o uso sustentável da bacia do rio Paraíba do Sul. O Comitê para a Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP) estabeleceu “diretrizes para um macrozoneamento de uso do solo na bacia, visando o desenvolvimento harmônico, compatibilizado com a proteção ambiental”. Em 2000, desenvolveu-se o Projeto Qualidade das Águas (PQA), cujo objetivo foi à concepção de programas de saneamento ambiental urbano e de gestão de recursos hídricos. As prefeituras, através do Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul (CBH-PS), constituído em

1994, também buscam a revitalização do processo de planejamento do uso dos recursos naturais da região.

Diante deste panorama, a prefeitura municipal de Guaratinguetá teve a iniciativa de buscar apoio junto ao grupo de pesquisa do Departamento de Engenharia Civil da FEG/UNESP, visando, por meio desta parceria, a revitalização da bacia do ribeirão Guaratinguetá, que é uma sub-bacia da bacia do Rio Paraíba do Sul, em sua porção paulista, sendo representativa das classes de solos e das atividades econômicas desenvolvidas na região do médio Vale do Paraíba (SOARES, 2005). A revitalização da bacia do ribeirão Guaratinguetá é de extrema importância, considerando que este é o principal manancial de abastecimento de água do município de Guaratinguetá e que, nos últimos anos, vem passando por um intenso processo de assoreamento e deterioração da qualidade de suas águas, devido, principalmente, às práticas inadequadas de uso e ocupação do solo desta bacia.

Para fornecer subsídios ao processo de revitalização da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá foi desenvolvido este trabalho de dissertação que, para melhor entendimento foi distribuído em capítulos, descritos a seguir.

No primeiro capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica, que buscou abordar os conceitos de bacia hidrográfica aplicados à importância de unidade integradora para planejamento e gestão, que permite a integração multidisciplinar entre diferentes sistemas de planejamento e gerenciamento, estudo e atividade ambiental e os demais temas desenvolvidos nos demais capítulos.

O segundo capítulo abordou de forma detalhada os efeitos geológicos e geomorfológicos sobre a formação e a dinâmica do ribeirão Guaratinguetá. Esse conhecimento é fundamental para a compreensão dos processos do meio físico de natureza hidroclimatológica que ocorrem na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá.

O terceiro capítulo deste estudo teve como objetivo delimitar as APPs da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá e avaliar se o uso e ocupação destas áreas atendem à legislação ambiental vigente.

O quarto capítulo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar as classes de capacidade de uso das terras da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, visando ao planejamento adequado de seu uso e ocupação.

No quinto capítulo deste trabalho foi elaborada uma proposta de adequação do uso das terras e o macrozoneamento ambiental da bacia do ribeirão Guaratinguetá.

Este trabalho de dissertação mostra que para equacionar os problemas da intervenção antrópica é necessário caracterizar, diagnosticar, avaliar e planejar o uso dos recursos naturais

da bacia hidrográfica que, em áreas rurais, passa a funcionar como unidade de planejamento agroambiental.

Em continuidade a este estudo é de grande importância o conhecimento de fatores socioculturais e o envolvimento da comunidade no processo de revitalização da bacia do ribeirão Guaratinguetá; devendo-se observar a valorização das práticas tradicionais de produção sustentável; o incentivo à capacitação e extensão para melhorar a produção; o desenvolvimento de programas informativos sobre educação ambiental; a elaboração, implementação e avaliação de planos de manejo com baixas intervenções e, a criação de condições para que os agricultores possam dar continuidade aos projetos individuais de manejo sustentável. Todas essas ações são importantes para a gestão integral dos recursos naturais, que permitirá a organização e a capacitação das populações, em níveis locais e regionais, na formulação e execução de planos de manejo para o uso sustentável dos recursos naturais.

1.2. REFERENCIAL TEÓRICO

1.2.1. A bacia hidrográfica

A partir da década de 70, o conceito de bacia hidrográfica passou a ser usado tanto na área das ciências ambientais como no planejamento ambiental com o intuito de empregar uma abordagem mais holística dos problemas ambientais (Figura 1). Na literatura o conceito de bacia hidrográfica tem recebido diferentes definições e em sua maioria descrevem a bacia hidrográfica como um sistema integrado pelos meios físicos, biótico e antrópico (WALLING; GREGORY, 1973; AB'SABER, 1987; ROCHA et al., 2000; BRIGANTE; ESPÍNDOLA, 2003).

Como conceito mais adequado para o presente trabalho, Hynes (1975) descreve a bacia hidrográfica como um sistema biofísico e sócio-econômico, interdependente e integrado, composto de atividades agrícolas, industriais, urbanas, diferentes tipos de vegetação, nascentes, córregos e riachos, lagoas, morros, planícies, escarpas, enfim, um infindável conjunto de habitat e unidades de paisagem. A bacia tem como importante característica o fato de ser uma unidade funcional, com processos e interações ecológicas passíveis de serem estruturalmente caracterizados, quantificados e matematicamente modelados.

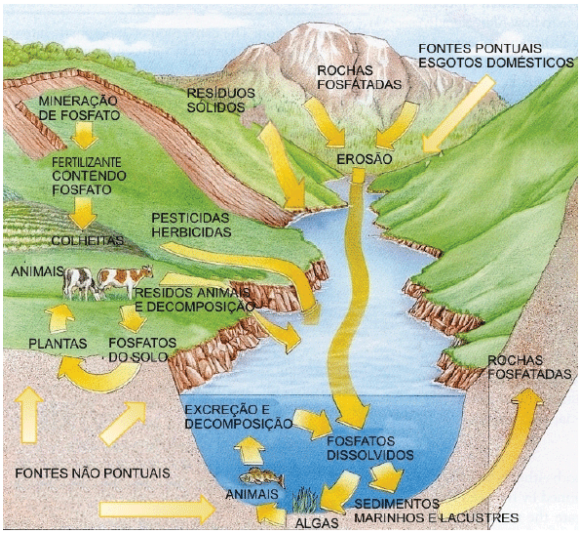

Figura 1 – A bacia hidrográfica como unidade de planejamento (Modificada de DOBSON; BECK, 1999 apud SERIGNOLLI, 2009).

Os limites de uma bacia hidrográfica podem ser estabelecidos por bases cartográficas que contenha cotas altimétricas, como as cartas topográficas, fotografias aéreas, imagens de satélite. A precisão da delimitação dependerá principalmente da qualidade e da riqueza de informações da imagem considerada (SILVEIRA, 1993).

A escolha da bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento atende a avaliação científica de sua importância ambiental. Pelas análises dos estados ecológicos das águas dos rios de uma bacia hidrográfica pode-se obter informações atualizadas sobre os processos ecológicos presentes, incluindo aqueles antrópicos (MARGALEFF, 1986). Já para Bauer (1988), independente do grau de interferência antrópica ao qual a bacia hidrográfica esteja submetida, esta pode ser considerada como unidade de estudo, que deve ser realizado de forma interdisciplinar e deve apresentar uma gestão participativa.

Prochnow (1990) relatou que, em razão à importância designada à água atualmente na sociedade e por integrar qualquer área de terreno, por menor que seja, a bacia hidrográfica é tida como referencial geográfico quando utilizada como unidade de estudos ambientais. Portanto, o termo bacia hidrográfica pode ser utilizado tanto para pequenas, quanto para grandes áreas, bastando somente localizá-las no espaço. Normalmente, uma bacia é denominada de acordo com o seu curso d'água principal. No caso da bacia hidrográfica em estudo, foi definido que, de acordo com seu tamanho, ela compõe uma bacia.

A bacia hidrográfica pode ainda ser dividida, segundo seu tamanho, em bacia, sub-bacia e microbacia. Faustino (1996) define uma sub-bacia como sendo toda área com drenagem direta ao curso principal da bacia, várias sub-bacias como formadoras de uma bacia

(100 km^2 área < 700 km^2) e uma microbacia como toda área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia, várias microbacias como formadoras de uma sub-bacia (área < 100 km^2).

De acordo com Cecílio e Reis (2006) a micro-bacia hidrográfica é definida como a "área de formação natural, drenada por um curso d'água e seus afluentes, a montante de uma seção transversal considerada, para onde converge toda a água da área". Em termos gerais, a micro-bacia é uma sub-bacia hidrográfica de área reduzida, não havendo consenso de qual seria a área máxima (máximo varia entre 0,1 a 200 km^2).

Em pequenas bacias, qualquer variabilidade passa a ter uma importância relativa maior do que em médias e grandes bacias, onde pequenas variações no valor de uma propriedade são filtradas pelo comportamento médio da mesma. É, portanto, fundamental um levantamento detalhado das características fisiográficas em pequenas bacias hidrológicas, tais como área e forma, densidade da rede de drenagem, comprimento da bacia e do canal principal e declividade, além do levantamento das características das rochas, solos, sedimentos e cobertura vegetal (LORANDI; CANÇADO, 2002).

1.2.2. A bacia hidrográfica como unidade de planejamento

O conceito de bacia hidrográfica tem sido cada vez mais expandido e utilizado como unidade de gestão da paisagem na área de planejamento ambiental sob perspectiva do desenvolvimento sustentável. Em um estudo hidrológico, o conceito de bacia hidrográfica representa a unidade mais apropriada para análises qualitativas e quantitativas do recurso água e dos fluxos de sedimentos e nutrientes (PIRES et al., 2002). Segundo os mesmos autores, a adoção do conceito de bacia hidrográfica para a conservação de recursos naturais está relacionada à possibilidade de avaliar, em uma determinada área geográfica, o seu potencial de desenvolvimento e a sua produtividade biológica, determinando as melhores formas de aproveitamento dos mesmos com o mínimo impacto ambiental. Nesse sentido, as abordagens metodológicas utilizadas para estudar e gerenciar o espaço físico compreendido pela bacia hidrográfica devem estar relacionadas às teorias e aos modelos que possam explicar, predizer e organizar adequadamente as informações úteis ao processo de gestão ambiental. Em termos gerais, o local geográfico natural que observa a dependência de todos os componentes do crescimento e do desenvolvimento da sociedade e define os múltiplos usos de gestão de recursos hídricos é a bacia hidrográfica.

Para que os investimentos destinados ao gerenciamento e monitoramento das bacias hidrográficas sejam empregados da melhor maneira, os objetivos das pesquisas hidrológicas devem ser bem determinados, de forma a permitirem a interpretação dos dados coletados para uso no planejamento do aproveitamento dos recursos de água e solo que compõem a bacia hidrográfica. Para atingir os objetivos determinados, a escolha dos dados a serem coletados é de fundamental importância. No entanto, muitas vezes a coleta de todos os dados necessários não é possível, sendo a escassez de informações combatida com a otimização das disponíveis por meio de um conjunto de ferramentas que buscam explorá-las ao máximo visando à estimativa das variáveis, podendo, assim, delimitar regiões hidrológicas e permitir a identificação de áreas com comportamento similar (TUCCI, 2003).

Os fatores de degradação ambiental de uma bacia hidrográfica refletem as condições ambientais predisponentes e as condições socioeconômicas da área. Estes fatores podem ser subdivididos em dois grupos, segundo Prochnow (1990): a) fatores naturais, que são os fatores associados à predisposição do meio físico à degradação ambiental e b) fatores de natureza antrópica, que são os fatores resultantes das atividades humanas vinculadas à organização e à ocupação do meio físico.

Durante a análise de uma bacia, devem ser considerados também os componentes dos recursos naturais que condicionam o meio físico ante os processos de degradação ambiental, como as características da rede de drenagem, que envolvem características climáticas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas e da vegetação, bem como os componentes socioeconômicos, levando-se em conta sua interação regional e sua articulação com os problemas nacionais. Compreendida dessa forma, a bacia hidrográfica representa uma unidade ideal de planejamento (RIBEIRO, 2002).

Os estudos da rede hidrográfica permitem avaliar desde a disponibilidade de recursos hídricos, por exemplo, para a irrigação, até o estado de degradação das áreas adjacentes em função da constatação da alta carga de sedimentos transportados e/ou assoreados no leito do rio. O arranjo da rede de drenagem é reflexo da interação de um conjunto de variáveis físicas, como clima, relevo, solo, substrato rochoso e vegetação. A partir da análise criteriosa dessas variáveis que compõem a rede de drenagem, torna-se possível tecer considerações acerca da bacia que está em estudo.

Porém, essas análises devem ser realizadas juntamente com outros conjuntos de variáveis que compreenderão parâmetros químicos e biológicos e a descrição do uso e da ocupação do solo, pois as análises das variáveis físicas por si só não responderão fielmente às

reais condições da rede de drenagem. No entanto, quando considerado o conjunto de análises, as considerações feitas a respeito da bacia serão mais consistentes.

A análise de dados climáticos revela informações muito importantes, como período de maior potencialidade erosiva das chuvas, riscos de estiagens, etc. Além disso, essa análise permite conhecer as perdas de água do solo por evapotranspiração que podem caracterizar ou não períodos de abundância e/ou deficiência hídrica no solo. Esses dados são de grande valor para o setor agrícola.

As informações geológicas permitem a reconstrução histórica da evolução da paisagem e do seu comportamento atual. Por exemplo, o tipo de substrato rochoso e o controle estrutural dos canais definem os padrões e modelos de drenagem de uma bacia. As formas de relevo, sob o ponto de vista ambiental, são consideradas fatores que influenciam as condições locais e criam condições hidrológicas e topoclimáticas específicas em uma bacia hidrográfica.

A identificação dos diferentes tipos de cobertura vegetal informa principalmente, sobre o nível de proteção do solo. O levantamento de dados sobre a cobertura vegetal vem acompanhado, geralmente, pela informação sobre o uso atual do solo, pois ambos estão estritamente relacionados. Após o estabelecimento das atribuições ou alterações de uso do solo, este fato permite criar um confronto ou incongruência de uso, decorrentes da conjugação das informações sobre o uso e cobertura do solo atual e aquele considerado mais adequado. Assim, é preciso eleger áreas prioritárias para a implantação de projetos de planejamento ambiental.

A vegetação constitui um elemento regularizador da biodiversidade, do clima, da composição atmosférica e do ciclo hidrológico de uma bacia hidrografia. Tucci e Clarke (1997) relataram que modificações causadas por processos naturais e antrópicos na cobertura vegetal das bacias hidrográficas podem gerar inúmeras consequências, tais como maiores flutuações de temperatura, déficit de tensão de vapor das superfícies das áreas desmatadas, menor variabilidade da umidade das camadas profundas do solo, mudanças na distribuição espacial e temporal da precipitação, erosão hídrica, alteração na morfologia dos canais de drenagem, alteração da descarga de água e sedimentos, etc.

As atividades agropecuárias e agroindustriais causam principalmente a erosão das terras cultivadas e a poluição dos recursos hídricos por meio da utilização de pesticidas, fertilizantes e lançamento de dejetos animais. Como consequências secundárias, podem ser citadas a diminuição de florestas gerada pelo processo de abertura de clareiras e de criação de animais e o desmatamento; a perda e o desperdício de água utilizada para irrigação de terras e

a diminuição de nutrientes do solo, decorrente do uso excessivo desse recurso natural (OMETTO, 2005).

Tem-se, portanto, que a ocupação humana constitui um fator decisivo de modificação de processos geradores de impacto, tais como erosão e assoreamento. A deflagração desses processos é iniciada por atividades como o desmatamento, o cultivo da terra, a construção de estradas e a criação e a expansão de cidades (SALOMÃO; IWASA, 1995).

Para mudar esse processo, é necessária uma nova geração de profissionais com uma nova visão, mais dinâmica e atualizada para planejar o espaço de forma mais sustentável. Além disso, a legislação de controle é essencial para que os empreendedores sejam convencidos a adotar as medidas na fonte (TUCCI, 2003).

A implementação de pesquisas científicas pode promover mudanças consideráveis na agricultura, na indústria e em outras áreas, desde que a informação circule e mudanças de comportamento sejam adotadas. A ciência e a educação são, portanto, condições básicas para esses avanços, que se provam mais e mais urgentes à medida que crescem as necessidades das cidades.

As informações necessárias para a tomada de decisão devem ser buscadas através de um sistema de informações ambientais que leve em conta os componentes do meio ambiente, ou seja, o conjunto dos meios físicos, composto pelas informações quantitativas das características físicas, químicas e biológicas da água e do solo por meio de amostragens estatísticas e os conjuntos dos meios antrópicos e dos meios socioeconômicos, possibilitando, desta forma, o monitoramento das ações do homem sobre o ambiente e as respostas deste, na forma de impactos, considerando-se nesses processos a fragilidade do sistema ambiental.

1.2.3. O Código Florestal e as Áreas de Preservação Permanente

O Código Florestal vigente é resultado de uma revisão completa do Primeiro Código Florestal, instituído pelo Decreto Federal nº 23.793 de 23 de janeiro de 1934. A criação do Código Florestal não impediu a que devastação florestal continuasse, mas pela primeira vez reconheceu a floresta como um bem de interesse comum, não só dos brasileiros natos, mas de todos os habitantes do país. O então denominado “novo” Código Florestal entrou em vigor no dia 15 de setembro de 1965 (Lei Federal nº 4.771), na vigência da Constituição Federal de 1946 de caráter intervencionista. Embora respaldada por uma Constituição e por uma história de indignação quanto à devastação, o novo código chegou com críticas do meio jurídico (CASTILHO, 1974 apud VICTOR, s/d:39).

O Código Florestal (Lei Federal nº 4.771 de 15 de setembro de 1965, alterado pelas Leis nº 7.803 de 18 de julho de 1989 e nº 7.875 de 13 de novembro de 1989) considera as beiras de rios e lagoas como Áreas de Preservação Permanente (APP), estipulando as faixas marginais a serem respeitadas, de acordo com a largura dos rios.

A Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2.001, alterou e inseriu algumas definições ao texto do Código Florestal, destacando a definição de que a Área de Preservação Permanente (APP) é a área protegida nos termos dos Artigos 2º e 3º desta lei, coberta 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. Neste ponto, difere do texto original, que considerava não a área, mas sim as florestas e demais formas de vegetação nativa, induzindo a interpretações técnicas e jurídicas mais complexas para sua aplicação.

A Resolução CONAMA nº 302, de 20 de março de 2002 dispõe sobre os parâmetros definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Já Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002, dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente, de onde se pode destacar as seguintes definições:

• Nível mais alto: nível alcançado por ocasião da cheia sazonal (grifo nosso) do curso d´água perene ou intermitente;

• Nascente ou olho d´água: local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea;

• Vereda: espaço brejoso e encharcado, que contem nascente ou cabeceiras de cursos d´água, onde há a ocorrência de solos hidromórficos, caracterizado predominantemente por renques de buritis-do-brejo (*Mauritia flexuosa*) e outras formas de vegetação típica.

A Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002 revogou a Resolução CONAMA nº 004, de 18 de setembro de 1985, a qual determinava critérios de limites das APPs em certos casos até então.

Dessa forma consideram-se de preservação permanente as florestas e demais formas de vegetação situadas:

a) ao longo dos rios ou de outro qualquer curso de água, desde o seu nível mais alto em faixa marginal, cuja largura mínima será:

1- de 30 (trinta) metros para os rios com menos de 10 metros de largura;

2- de 50 (cinquenta) metros para os cursos de água com largura entre 10 e 50 metros;

3- de 100 (cem) metros para os cursos de água com largura entre 50 e 200 metros;

4- de 200 (duzentos) metros para os cursos de água com largura entre 200 e 600 metros;
5- de 500 (quinhentos) metros para os cursos de água que possuam largura superior a 600 metros.

b) Ao redor de represas e reservatórios, naturais ou artificiais; (limites especificados na Resolução CONAMA nº 302, de 20 de março de 2002);

c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)

d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;

e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;

f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;

g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais; (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)

h) em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação. (Redação dada pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989)

O Código Florestal, em seu artigo 18, prevê que em terras de propriedade privada onde seja necessário o florestamento de preservação permanente, o Poder Público Federal poderá fazê-lo sem desapropriá-las, se não o fizer o proprietário. As áreas assim utilizadas pelo Poder Público ficam isentas de tributação.

A Constituição do Estado de São Paulo, em seu artigo 193 prevê a criação de programas e incentivos, incluindo os de crédito, planos de revegetação ciliar e conservação de solo e água a serem efetuados pelos órgãos oficiais conjuntamente com os proprietários rurais. Em seu artigo 197, a Constituição Paulista considera de Proteção Permanente as nascentes, os mananciais e as matas ciliares.

O Decreto Estadual 34.663/92 dispõe sobre a exploração agrícola das várzeas no Estado de São Paulo. Prevê que não serão autorizadas explorações agrícolas em áreas cujo solo não seja compatível com seu aproveitamento técnico-econômico, de comprovado interesse ecológico ou em bacias de captação de água para abastecimento público.

As áreas de preservação permanente são áreas protegidas, nos termos dos artigos 2° e 3° da Lei Federal nº 4.771 e alterada pela norma legal MP 2.166/2001. Esse ambiente ribeirinho reflete um complexo de fatores geológicos, climáticos, hidrológicos que em interação com os fatores bióticos definem uma heterogeneidade de ambientes (RODRIGUES;

LEITÃO FILHO, 2000). Sob florestas ciliares ocorre uma significativa variação de solos, cujos reflexos aparecem nos diversos tipos de formações florestais (JACOMINE, 2000). As comparações florísticas entre remanescentes de formações florestais ciliares mostram que essas áreas são muito diversas, mesmo em áreas de grande proximidade espacial, e essa diversidade é dependente também, entre outros fatores, do tamanho da faixa ciliar florestada (METZGER et al., 1997). Esses autores ressaltam que é necessário grande esforço de preservação das APPs, possibilitando a manutenção da biodiversidade e do fluxo gênico, aliado a uma implementação no conhecimento científico sobre essas áreas.

A preservação da faixa ripária, principalmente nos córregos e pequenos riachos, é de extrema importância, pois evita a erosão de solos adjacentes, impedindo ou atenuando a sedimentação e assoreamento do leito. O assoreamento resulta na perda de habitats aquáticos, no rebaixamento do lençol freático, na diminuição na vazão e no declínio da biodiversidade do sistema (BERKMAN; RABENI, 1987). A retirada da vegetação das margens dos rios é prejudicial não apenas devido ao assoreamento causado pela erosão do solo adjacente, mas também porque o material em suspensão interfere na qualidade da água do corpo receptor (ODUM, 1988).

Como é possível observar, a quantidade de dispositivos legais que disciplinam o uso das áreas de preservação permanente, não raro sobrepondo leis que se contradizem, ressaltando a necessidade de estudos que possam permitir a análise e determinação de medidas específicas a serem adotadas.

1.2.4. Planejamento do uso do solo

De acordo com Carvalho (2000) planejamento, em um sentido mais amplo, é um método de aplicação, contínuo e permanente, destinado a resolver, racionalmente, os problemas que afetam uma sociedade situada em determinado espaço, em determinada época, através de uma previsão ordenada capaz de antecipar suas ulteriores consequências.

Os planejamentos ambientais são elaborados como sistemas estruturados que envolvem as etapas de: a) definição dos objetivos; b) diagnóstico; c) prognóstico e identificação de alternativas; d) tomada de decisão e d) formulação de diretrizes, metas e políticas (SANTOS et al., 1997).

A principal função do planejamento de uso da terra é orientar as decisões sobre seu uso, de modo que os recursos sejam utilizados dentro de uma abordagem conservacionista, ou

seja, da maneira mais benéfica ao homem e à comunidade e, simultaneamente, promovendo a conservação dos recursos ambientais para o futuro (FAO, 1976).

A avaliação de terras representa a maior parte das atividades desse planejamento e refere-se ao estabelecimento de critérios do comportamento das terras, quando usadas para propósitos específicos, e requer uma abordagem multidisciplinar (WEILL, 1990).

O planejamento deve indicar as áreas que deverão ser destinadas aos diferentes tipos de uso que podem ser dados à terra, e também propor formas de aplicá-lo sem comprometer os recursos naturais.

O uso da Tecnologia da Informação (TI) no planejamento ambiental tornou-se uma importante ferramenta nas análises espaciais, principalmente com a evolução do geoprocessamento, especificamente dos Sistemas de Informações Geográfica (SIG).

1.2.5. Capacidade de uso do solo

São diversas as metodologias para a avaliação de terras, entre as quais a classificação de terras segundo a sua capacidade de uso, que pode ser conceituada como a adaptabilidade da terra às diversas formas de utilização agrícola, sem que ocorra o esgotamento do solo pelos fatores de desgaste e empobrecimento.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), o primeiro sistema de classificação de capacidade de uso foi apresentado nos Estados Unidos e o trabalho de Norton (1939) foi fundamental para a implantação desse sistema de classificação em vários países do mundo. No Brasil, a implantação do sistema de capacidade de uso teve início com uma tradução do trabalho original, "Classificação de terras como auxílio às operações de conservação do solo", em 1945 (WEILL, 1990). Depois, esse sistema sofreu várias adaptações. A primeira foi feita em 1957 por Marques et al. (1957). A segunda aproximação foi lançada em 1958, com o título “Manual brasileiro para levantamentos conservacionistas” (MARQUES, 1958) e, em 1971, foi publicada a terceira aproximação, “Manual Brasileiro para levantamento da capacidade de uso” (MARQUES, 1971). A quarta aproximação é uma adaptação feita por Lepsch et al. (1991) do sistema desenvolvido pelo Serviço de Conservação do solo dos EUA, por Klingebiel e Montgomery (1961), para agrupar solos em classes de capacidade de uso.

O planejamento do uso das terras compreende vários níveis de aplicação, desde o da propriedade agrícola até o nacional. O planejamento permite, em esfera nacional ou regional, a identificação de alternativas de desenvolvimento, em função das necessidades e condições sócio-econômicas. Já em áreas específicas como pequenas bacias hidrográficas e propriedades

agrícolas, ele provê contribuições para adequar as terras às várias modalidades de utilização agrosilvopastoris (WEILL, 1990; LEPSCH et al., 1991).

O sistema visa identificar as limitações permanentes e possibilidades de uso das terras, através da sistematização das informações de uma determinada área para definir a máxima capacidade de uso, sem que esta corra o risco de degradação do solo, especialmente no que diz respeito à erosão acelerada (LEPSCH et al., 1991).

As classes de capacidade de uso são caracterizadas, em termos gerais, apenas do ponto de vista das condições físicas da terra, ou seja, das condições locais de solo, clima e relevo e do resultado de suas interações (drenagem, erosão, inundação, etc), sem considerar a localização ou as características econômicas da terra (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990; LEPSCH et al., 1991).

A classificação da capacidade de uso é constituída de quatro níveis hierárquicos estruturadas em quatro categorias: grupos, classes, subclasses e unidades. Quanto maior o nível da categoria, a classificação indicará possibilidade de uso mais intensivo, ou então de menor restrição para a área (LEPSCH et al., 1991).

Segundo Lepsch et al. (1991), as categorias do sistema de capacidade de uso estão hierarquizadas em:

• *Grupos de capacidade de uso*: estabelecidos com base nos tipos de intensidade de uso das terras, designados pelas letras A, B e C (Tabela 1);

• *Classes de capacidade de uso*: baseadas no grau de limitação de uso, representam um grupamento de terras com o mesmo grau de limitação, definindo condições de aproveitamento e riscos de degradação semelhantes. São designadas por algarismos romanos de I a VIII, e quanto maior o seu valor, maior é a restrição ao uso. Assim a classe I abrange as terras praticamente sem limitações, cujo número de alternativas é muito grande, enquanto a classe VIII é atribuída às terras com riscos de degradação e/ou restrições em grau muito severo, onde são impossíveis ou extremamente reduzidas as possibilidades de utilização agrícola. São quatro classes de terras de cultura, três de pastagens e reflorestamento, e uma de terras impróprias para a vegetação produtiva, descritas de forma resumida na Tabela 1;

• *Subclasses de capacidade de uso*: representam as classes de capacidade de uso em função da natureza da limitação, tornando mais explícitas as práticas conservacionistas a serem adotadas;

• *Unidades de capacidade de uso*: baseadas nas condições específicas que afetam o uso ou manejo da terra, tornando mais explícita a natureza das limitações e facilitando o processo de estabelecimento das práticas de manejo.

Tabela 1 – Caracterização dos grupos e das classes de capacidade de uso do solo (LEPSCH et al., 1991).

Grupos de capacidade de uso	Classes de capacidade de uso
A – Terras que podem ser utilizadas para culturas anuais ou perenes, pastagens, reflorestamento e preservação ambiental	I – terras cultiváveis, aparentemente sem restrições ao uso, não necessitando de práticas especiais de conservação do solo;
	II – terras cultiváveis com ligeiras restrições ao uso, necessitando práticas especiais de conservação, de fácil execução;
	III – terras cultiváveis com severas restrições ao uso, apresentando problemas complexos de conservação;
	IV – terras cultiváveis apenas ocasionalmente ou em extensão limitada, apresentando sérios problemas de conservação.
B – Terras impróprias para culturas intensivas, mas adaptadas para pastagens, reflorestamento e preservação ambiental	V – terras sem restrição para uso com pastagens, reflorestamento ou preservação ambiental, não necessitando de práticas especiais de conservação, podem ser cultivadas em casos especiais;
	VI – terras com restrições moderadas ao uso, com problemas simples de conservação, cultiváveis em casos especiais de algumas culturas permanentes protetoras do solo;
	VII – terras com severas restrições ao uso, adaptadas em geral somente para pastagens ou reflorestamento, com problemas complexos de conservação.
C – Terras impróprias para cultivos anuais, perenes, pastagens ou reflorestamento, mas apenas para preservação ambiental ou recreação	VIII – terras impróprias para cultivos anuais, perenes, pastagens ou reflorestamento, servindo apenas como abrigo e proteção da fauna e flora silvestre, como ambiente de recreação, ou para fins de armazenamento de água.

A metodologia, atualmente, tem sido utilizada para verificar a adequabilidade entre o uso atual e a capacidade de uso da terra (DONZELLI et al., 1992; CAVALIERI, 1998; RIBEIRO; CAMPOS, 1999; RODRIGUES et al., 2001).

Para a determinação da capacidade de uso devem ser listados os fatores que têm maior influência sobre o uso da terra. Estes deverão ser devidamente interpretados e analisados em conjunto, para determinação e separação das classes, subclasses e unidades de capacidade de uso.

As interpretações para fins agrícolas devem ser feitas segundo critérios que reflitam a maior ou menor adaptabilidade dos solos e do ambiente em que ocorrem, para determinado cultivo ou grupo de cultivos.

Estabelecidas as condições ambientais ideais para a maioria das culturas, qualquer desvio ou afastamento delas representa uma limitação à utilização destas. Logo, a

determinação da capacidade de uso consiste em estabelecer a intensidade de variação de cada condição agrícola considerada, atribuindo-lhe graus de limitação em função do maior ou menor afastamento das condições ideais (LEPSCH et al., 1991).

Esse sistema é recomendado para fins de planejamento de práticas de conservação do solo, ao nível de propriedades, de empresas agrícolas ou de pequenas bacias hidrográficas, e trabalha usualmente com nível de manejo médio ou alto (LEPSCH et al., 1991).

1.2.6. Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) é um sistema constituído por um conjunto de programas capazes de armazenar, manipular, transformar, analisar e exibir dados espacialmente distribuídos. Estes dados descrevem objetos e fenômenos em termos do posicionamento com relação a um sistema de coordenadas, de seus atributos, e das relações topológicas existentes (BURROUGH, 1986). No entanto, Bernhardsen (1999) adverte que tais sistemas existiam antes do desenvolvimento dos sistemas computacionais, e que os SIG's evoluíram a partir de séculos de produções de mapas e da compilação de registros geográficos.

Segundo Câmara et al. (1996), há três grandes maneiras de utilizar um SIG: como ferramenta para produção de mapas; como suporte para análise espacial de fenômenos; ou como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação da informação espacial. Com a utilização do SIG é possível extrair os dados adequados, a partir de um banco de dados, tornando-os passíveis de serem manipulados e analisados automaticamente. Dessa forma, eliminam-se as ações subjetivas, apresentando os resultados sob a forma de mapas, permitindo-se, então, desenvolver metodologias mais versáteis e buscando novas soluções para o objeto de estudo (GROSSI, 2003).

Por estas razões, um SIG pode ser utilizado em estudos relativos ao meio ambiente e aos recursos naturais, na pesquisa da previsão de determinados fenômenos ou no apoio a decisões de planejamento, considerando a concepção de que os dados armazenados representam um modelo do mundo real (BURROUGH, 1986). Colocando-se como um importante conjunto de tecnologias de apoio ao desenvolvimento da agricultura, o geoprocessamento permite analisar grandes quantidades de dados georreferenciados, independentemente de serem estatísticos, dinâmicos ou atuando de maneira isolada ou em conjunto. Mais do que isto, o geoprocessamento permite o tratamento desses dados, gerando

informações e possibilitando soluções através de modelagem e simulações de cenários (ROCHA; LAMPARELLI, 1998).

Numa visão abrangente, pode-se considerar que um SIG tem os seguintes componentes (ASSAD; SANO, 1998):

- *Interface com o usuário*;
- *Entrada e integração de dados;*
- *Consulta, análise espacial e processamento de imagens;*
- *Visualização e plotagem; e*
- *Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).*

Formaggio et al. (1992) concluíram que os sistemas de informações geográficas constituem uma das mais modernas e promissoras tendências de armazenamento e manipulação de informações temáticas sobre recursos naturais terrestres. As imagens de satélite, em conjunto com a avaliação de terras e um SIG constituem excelente ferramenta para verificar a adequação de uso das terras de uma região, viabilizando medidas governamentais de estímulo à intensificação de práticas conservacionistas nos locais onde os riscos detectados sejam maiores.

Uma discussão sempre atual face a utilização de SIG é a construção de um modelo realista e acessível em relação ao mundo real, ultrapassando a mera idéia de usar o computador para desenhar mapas, tornando-se realmente uma poderosa ferramenta. Assim, como demonstra a Figura 2, o SIG deve ser encarado como uma técnica de processamento de informações retiradas do mundo real que sofrem, consequentemente, processos de abstração e simplificação (BERNHARDSEN, 1999).

Figura 2 – Esquema de um modelo conceitual de análise (modificado de BERNHARDSEN, 1999).

O domínio de aplicações que podem ser desenvolvidas com o uso de SIG está crescendo cada vez mais, acompanhando a evolução dos dispositivos de coleta de dados e as facilidades computacionais em geral. De um modo geral, esses sistemas têm sido utilizados em aplicações sócio-econômicas (uso da terra, ocupação humana e atividades econômicas); em aplicações de gerenciamento (planejamento de tráfego, de obras públicas, gerenciamento de recursos, entre outros); e aplicações ambientais (análise do meio ambiente e o uso de recursos naturais) (GIBOSHI, 2005).

A área de meio ambiente é uma das mais tradicionais na utilização da tecnologia de SIG, devido, principalmente, às grandes extensões territoriais envolvidas e ao dinamismo requerido para que se possa exercer um controle eficaz (FERNANDES, 1997).

São muitas as vantagens da utilização de SIG nessa área, como a rapidez com que os dados podem ser manipulados e a facilidade de atualização dos mesmos; a produção de mapas com rapidez; obtenção de mapas intermediários; a quantificação automática de áreas etc.

As técnicas de sensoriamento remoto e de integração de dados pelo sistema de informação geográfica vêm sendo aplicadas em estudos de mudanças do uso da terra (OLIVEIRA et. al., 2008, FERREIRA; FILHO, 2009), avaliação das terras para fins agrícolas (CARNEIRO et. al., 2006, COSTA et.al., 2008) e também nos estudos de degradação dos solos (BRAÚNA; CRUZ, 2009; CARVALHO et al., 2010).

O *software* utilizados neste trabalho foi o ArcGIS® 9.2, um pacote de *softwares* da ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) de elaboração e manipulação de

informações vetoriais e matriciais para o uso e gerenciamento de bases temáticas. O ArcGIS® disponibiliza em um ambiente de SIG uma gama de ferramentas de forma integrada e de fácil utilização. O *software* ArcGIS® tem sido muito utilizado para realizar estudos na área ambiental, como por exemplo, a adequação do uso das terras (MACIEL e CARVALHO, 2009), a determinação da capacidade de uso das terras (FERNANDES et al., 2010), o mapeamento de impactos ambientais (OMETTO et al. 2005), estudos em APPs (CAMPOS et al., 2009) e a caracterização de cobertura florestal (SEABRA et al., 2009).

1.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. *Bases Conceptuais e Papel do Conhecimento na Previsão de Impactos.* In: MULLER-PLANTENBERG, C.; AB'SABER, A.N.(Org). *Previsão de Impactos - Experiências no Brasil, Rússsia e Alemanha.* São Paulo: IEA-EDUSP. 1994. p. 27-49.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*. Brasília: EMBRAPA-SPI/EMBRAPA-CPAC, 1998. 2ª ed. 434p.

BAUER, C. E. *Environmental management of water basins*. In: TUNDISI J.G. (Ed.). *Liminologia e manejo de represas*. São Carlos. ACIESP/FAPESP (série monografias em limnologia). 1988. v. 1, tomo 2, p. 432-505.

BELTRAME, A. V. *Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas*: modelo e aplicação. Florianópolis: UFSC, 1994.

BERKMAN, H. E.; RABENI, C. F. *Effect of Siltation on Stream Fish Communities.* Environmental Biology of Fishes, 1987. v. 18 (4), p. 285 – 294.

BERNHARDSEN, T. *Geographic Information Systems: an introduction.* John Wiley & Sons, United States of America, 2ª ed 372 p. 1999.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo.* São Paulo, SP: Ícone, 1990. 355p.

BRASIL. "Decreto Federal nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934". 1934. *Aprova o Código Florestal.* Rio de Janeiro, Capital Federal: Supremo Tribunal Federal, 1934. 19p.

BRASIL. "Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965". 1965. *Institui o Novo Código Florestal.* Brasília, DF: Senado Federal, 1965. 5p.

BRASIL. "Resolução CONAMA nº 004, de 18 de setembro de 1985". 1985. *Estabelece critérios para as Áreas de Preservação Permanente.* Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF:

BRASIL. “Lei Federal nº 7.803, de 18 de julho de 1989”. 1989. *Altera a redação da Lei nº 4771, de 15 de setembro de 1965 e revoga as Leis nº 6535, de 15 de junho de 1978, e 7511, de 7 de julho de 1986.* Brasília, DF: Senado Federal, 1989.

BRASIL. “Lei Federal nº 7.875, de 13 de novembro de 1989”. 1989. *Modifica dispositivo do Código Florestal vigente (Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965) para dar destinação específica à parte da receita obtida com a cobrança de ingressos aos visitantes de parques nacionais.* Brasília, DF: Senado Federal, 1989.

BRASIL. “Decreto Estadual nº 34.663, de 26 de fevereiro de 1992”. 1992. *Dispõe sobre exploração agrícola das áreas de várzeas no Estado de São Paulo.* São Paulo, SP: Secretaria de Estado do Governo, 1992.

BRASIL. “Medida Provisória nº2166-67, de 24 de agosto de 2001”. 2001. *Altera os arts. 1º, 4º, 14, 16 e 44, e acresce dispositivos à Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que institui o Código Florestal, bem como altera o art. 10 da Lei nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996, que dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural - ITR, e dá outras providências.* Brasília, DF: Senado Federal, 2001.

BRASIL. “Resolução CONAMA nº 302, de 20 de março de 2002”. 2002. *Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno.* Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF.

BRASIL. “Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002”. 2002. *Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.* Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF.

BRAÚNA, A. L.; CRUZ, M. L. B. da. *Geoprocessamento aplicado a análise da degradação e desertificação no município de Tauá – CE*. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa – MG.

BRIGANTE, J.; ESPÍNDOLA, E. L. G. *Limnologia Fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu*. 1ªed. São Carlos: Editora RiMa. 278p. 2003.

BURROUGH, P. A. *Principles of geographical information systems for land resources assessment.* New York: Oxford University Press, 1986. 193p.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. *Anatomia de sistemas de informação geográfica.* Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996. 197p.

CAMPOS; S.; GRANATO, M.; ARAÚJO, D. M.; PISSARRA,T. C. T.; RODRIGUES, F. M. *“Uso inadequado de áreas de preservação permanente segundo a legislação ambiental”*. In: Anais II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, Taubaté, Brasil, 09-11 dezembro 2009, IPABHi, p. 373-378.

CARNEIRO, M. A., DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T.; COMUNELLO, É. *Aptidão da bacia do Rio Dourados para o cultivo de algumas espécies de eucaliptos.* R. Floresta, Curitiba, PR, v. 36, n. 3, set./dez, p. 331-342, 2006.

CARVALHO, B. N. R. *Um sistema de informações para a prática do gerenciamento e planejamento urbano.* Florianópolis, 2000. 149p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina.

CARVALHO, E. M. de; PINTO, S. dos A. F.; SEPE, P. M. ROSSETTI, L. A. F. G.. *Utilização do geoprocessamento para avaliação de riscos de erosão do solo em uma bacia hidrográfica: Estudo de caso da bacia do rio Passa Cinco/SP*. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife – PE, p. 001 – 008. 27-30 de Julho de 2010.

CASTILHO, E. A. H. de. *Subsídios técnico-jurídicos para a Revisão do Código Florestal. Instituto Florestal.* São Paulo, 1974. apud VICTOR, M. A. M. *A devastação Florestal.* Sociedade Brasileira de Silvicultura. São Paulo. Sem data.

CAVALIERI, A. *Avaliação da aptidão agrícola das terras e estudo da degradação do solo da quadrícula de Moji Mirim para fins de planejamento agroambiental.* Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP. Tese de doutorado. 1998. 112p.

CECÍLIO,R.A.; REIS,E.F. *Apostila didática: manejo de bacias hidrográficas.* Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, 2006. 10p.

COSTA, G. P., SOUZA, J. L. M. e JESUS, M. R. G. *Contraste entre duas metodologias de determinação do potencial agrícola das terras nas vilas rurais no município de Rio Negro, Estado do Paraná.* R. Acta Sci. Agron. Maringá, v. 30, supl., p. 687-695, 2008.

DOBSON, C.; BECK, G. G. *Watersheds*: a practical handbook for healthy water. Canada: Friensens, Altona, Manitoba, 1999. apud SERIGNOLLI, P.P.G. *A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento,* 2009. Disponível em: http://serignolli.wordpress.com/2009/10/30/a-bacia-hidrografica-do-tietejacare-estudo-de caso-em-pesquisa-e-gerenciamento/ Acessado em: 12 de novembro de 2009.

DONZELLI, P. L.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S. A. F.; NOGUEIRA, F. P.; ROTTA, C. L.; LOMBARDI NETO, F.; *Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas*. In: LOMBARDI NETO, F.; CAMARGO, O. A. (coords.). *Microbacia do Córrego São Joaquim (Município de Pirassununga).* Campinas: Instituto Agronômico, 1992. P.91-119. (Documentos IAC, 29).

FAUSTINO, J. *Planificación y Gestión de Manejo de Cuencas.* Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FAO. *A Framework for land Evaluation*. Rome,1976. 72p. (FAO. Soils Bulletin, 32).

FERNANDES, E. N. *Sistema inteligente de apoio ao processo de avaliação de impactos ambientais de atividades agropecuárias.* Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1997. 122p.

FERNANDES, N. B.; MOREAU, M. S.; MOREAU, A. M. S. S.; COSTA, L. M.. *"Capacidade de uso das terras na bacia hidrográfica do Jiquiriçá, recôncavo sul da Bahia"* Caminhos de Geografia. Uberlândia v. 11, n. 34 jul/2010 p. 105 – 122.

FERREIRA A. B.; FILHO, W. P. *Análise do uso e cobertura da terra de três sub-bacias hidrográficas – Rio Grande do Sul/Brasil*. R. Bras. Geografia Física, Recife-PE, Vol.2, n.03, set-dez, p.20-36, 2009.

FORMAGGIO, A. R.; ALVES, D. S.; EPIPHANIO, J. C. N. *Sistemas de informações geográficas na obtenção de mapas de aptidão Agrícola e de taxa de adequação de uso das terras*. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 16:249-256, 1992.

GIBOSHI, M. L. *Sistema de apoio ao processo de decisão para a gestão do uso agrícola da terra.* Campinas: UNICAMP, 2005, 114p. Tese Doutorado

GROSSI, C. H. *Sistema de informação geográfica – BASINS 3.0 na modelagem hidrológica da Bacia Experimental do Rio Pardo, SP*. Botucatu: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2003, 101p. Dissertação de Mestrado.

HYNES, H. B. N. *The stream out its valley. Vehr. Internat*. Verein: Limnol, 1975. n. 19, p. 1-15.

JACOMINE, P. T. K. *Solos sob matas Ciliares*. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Ed.). *Matas cilares: conservação e recuperação*. São Paulo: EDUSP, 2000. 320 p.

KLINGEBIEL, A. A.; MONTGOMERY, P. H. *Land – capability classification*. Washington, D. C. USDA, 1961. 21p. (Agriculture Handbook 210) apud LEPSCH, I. F.; BELLINAZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. *Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso.* 4a Aproximação. 2a edição. Campinas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. *Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso.* 4a Aproximação. 2ª ed.. Campinas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.175p.

LORANDI, R.; CANÇADO, C.J. *Parâmetros físicos para gerenciamento de bacias hidrográficas.* In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO A.F.M.(Eds.). *Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações.* Ilhéus, BA: editus. 2002. 293p.

MACIEL, L. M. de M.; CARVALHO, A. P. F. de. *"Mapa de adequação de uso das terras como subsídio à elaboração de trabalhos de gestão ambiental em projetos de assentamento, estudo de caso PA Americana município de Grão Mogol – MG."* Rev. Espaço & Geografia, Vol.12, No 2 (2009), 243:269.

MARGALEFF, R. *Ecologia.* Barcelona, Omega. 1986. 952p.

MARQUES, J. Q. A.; BERTONI, J.; GROHMANN, F. *Levantamento conservacionista.* Campinas, Instituto Agronômico, 1957. 33p. (Boletim 67).

MARQUES, J. Q. A. *Manual brasileiro para levantamentos conservacionistas: 2ª aproximação.* Rio de Janeiro: Escritório Técnico Brasil-Estados Unidos (ETA), 1958. 135p.

MARQUES, J. Q. A. *Manual para levantamento da capacidade de uso da terra: 3ª aproximação.* Rio de Janeiro: Escritório Brasil-Estados Unidos (ETA), 1971. 433p.

METZGER, J. P.; BERNACCI, L. C.; GOLDENBERG, R. *Patternof Tree Species Diversity in Riparian Forest Fragments of Different Widths (SE Brazil).* Plant Ecology, 133p. 1997.

NORTON, E. A. *Soil conservation survey handbook.* Washington, US-DA, 40p. 1939. (Bulletin, 421).

ODUM, E. *Fundamentos de Ecologia*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 4ª edição. 1988. 632p.

OLIVEIRA, F. S., SOARES, V. P., PEZZOPANE, J. E. M., GLERIANI, J. M., LIMA, G. S., SILVA, E., RIBEIRO, C. A. A. S. e OLIVEIRA, Â. M. S. *Identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente no entorno do Parque Nacional do Caparaó, estado de Minas Gerais.* R. Árvore, Viçosa-MG, v.32, n.5, p.899-908, 2008.

OMETTO, A. R.; MANGABEIRA, J. A. de C.; HOTT, M. C.. "*Mapeamento de potenciais de impactos ambientais da queima de cana-de-açúcar no Brasil."* In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2297-2299.

OMETTO, A. R. *Avaliação do ciclo de vida d o álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIT, exergia e emergia.* 2005. 209p. Tese de doutorado. Escola de engenharia de São Carlos – USP. São Carlos. 2005.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. *A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais.* In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO A. F. M. (Eds.). *Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações.* Ilhéus, BA: editus. 2002. 293p.

PROCHNOW, M. C. R. *Análise ambiental da sub-bacia do rio Piracicaba: subsídio ao planejamento e manejo.* 1990. 330p. Tese de Doutorado. Rio Claro. Universidade Estadual Paulista. Instituto de geociências e ciências exatas. 1990.

RIBEIRO, R. P. *Avaliação das alterações na rede de drenagem de sub-bacias hidrográficas da porção média da bacia do rio Capivari (SP): escala: 1: 25.000 – subsídio para o planejamento integrado.* 2002. 231p. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos. 2002.

RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. *Capacidade de uso da terra no alto rio Pardo, Botucatu (SP), através do sistema de informação geográfica.* Energia na Agricultura, v.14, n.2, p.48-60, 1999.

ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. *Geoprocessamento: Mecanização e agricultura de precisão.* In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, p. 1-30. 1998, Poços de Caldas – MG.

ROCHA, O.; PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. *A bacia hidrográfica como unidade de estudo e planejamento.* In: ESPÍNDOLA, E. L. G. et al. (orgs.). *A bacia hidrográfica do Monjolinho: uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar.* São Carlos: Rima, cap.1, p.1-16. 2000.

RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. *Matas Ciliares: Conservação e Recuperação.* 2ed. São Paulo: FAPESP, 2000. 320p.

RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L.; PIROLI, E. L. *Utilização de sistema de informação geográfica na avaliação do uso da terra em Botucatu (SP).* Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, n.3, p.675-681, 2001.

SALOMÃO, F. X. T.; IWASA, O. Y. *Erosão e a ocupação rural e urbana.* In: BITAR, O.Y. (Coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia e Engenharia/Instituto de pesquisas tecnológicas. 1995. p.31-57.

SANTOS, R. F., CARVALHAIS, H. B., PIRES, F. *Planejamento ambiental e sistemas de informações geográficas.* Caderno de Informações Georreferenciadas (CIG), v.1, n.2, 1997.

SILVEIRA, A. L. L. *Ciclo hidrológico e bacias hidrográficas.* In: TUCCI, C.E.M. (Org.). Hidrologia – Ciência e aplicação. Rio Grande do Sul: ABRH. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1993. p.35-52.

SEABRA, V. da S.; CARIS, E. P.; CRUZ, C. B. M.. "*Caracterização atual da cobertura florestal no estado do Rio de Janeiro em apoio ao planejamento ambiental.*" In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3019-3026.

SOARES, P. V. *As interrelações de elementos do meio físico natural e modificado na definição de áreas potenciais de infiltração na porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul.* (Tese de Doutorado). 2005. 192p.

TUCCI, C. E. M. *Drenagem urbana. Gestão das águas.* Ciência & Cultura, v.55, nº.4. 2003. p.36-37.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. *Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento. Revisão.* Revista brasileira de Recursos Hídricos. v.2, n°1. p.1-10. 1997.

VILAÇA, M. F.; GOMES, I.; MACHADO, M. L.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. L. R. *Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: O estudo de caso do ribeirão Conquista no município de Itaguara – MG.* In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. Anais...Viçosa, 2009.

WALLING, D.E.; GREGORY, M. *Drainage basin form and process: a geomorphological approach.* London. Edgard Arnold. 1973. 456p.

WEILL, M. de A. M. *Metodologias de avaliação para fins agrícolas.* Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro, RJ, 52:127-160. 1990.

CAPÍTULO 2

EFEITOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS SOBRE A FORMAÇÃO E A DINÂMICA DOS SISTEMAS FLUVIAIS COMPLEXOS: A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO GUARATINGUETÁ, SP

RESUMO

FERREIRA, Mariana Cassiano. **Efeitos geológicos e geomorfológicos sobre a formação e a dinâmica dos sistemas fluviais complexos: a bacia do ribeirão Guaratinguetá, SP. In: _____ Proposta para o uso e manejo sustentável da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, SP.** Bauru: UNESP, 2011. Cap. 2, p. 24 – 42. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental).

A Bacia do Rio Paraíba do Sul possui grande diversidade geológica e geomorfológica, conduzindo a padrões diversificados de sistemas fluviais. Os recentes eventos intensos de precipitação (2008/2009/2010) mostraram que a diversidade do meio físico tem grande influência na ocorrência de inundações rápidas e na complexidade dos sistemas de drenagem encontrados (superposição de anastomosamento e meandramento). Este estudo, realizado na bacia do ribeirão Guaratinguetá (manancial da cidade homônima) mostra que, no trecho próximo ao contato entre as rochas précambrianas com as rochas sedimentares, o ribeirão Guaratinguetá possui formas complexas de padrões de drenagem, envolvendo intensa erosão de margem, presença de extensos bancos de areia e de seixos que podem alcançar dimensões superiores a 30 cm. Este conjunto de processos e desequilíbrios fluviais tende a se agravar devido à ocupação inadequada, onde se desenvolve a pecuária extensiva nas áreas de entorno do ribeirão e nas várzeas.

ABSTRACT

FERREIRA, Mariana Cassiano. **Geological and geomorphological effects on origin and evolution of complex fluvial systems: Guaratinguetá stream basin, SP. In: _____ Proposal for the sustainable use and management of Guaratinguetá stream basin in São Paulo State.** Bauru: UNESP, 2011. Cap. 2, p. 24 – 42. (Dissertation – Master in Civil and Environmental Engineering).

The Paraiba do Sul Basin, situated in the Southeast Brazil, has a large geological and geomorphological diversity, which is responsible for a complex drainage system (combination of meandering and anastomosed patterns). The intense convective precipitation occurred during the Summer 2008/2009/2010 in this region generated severe flash flood affecting both urban and rural areas. For a regional watershed (Guaratinguetá stream basin) this study shows that geological and geomorphological features are directly associated with flash flood events. Intense fluvial erosion, large island between the channels and stones measuring more than 30 cm are common in the region near the geologic contact between metamorphic and sedimentary rocks. Stream complex drainage patterns, observed in the study region derives mainly from geologic and geomorphologic upstream conditions, and secondary, are related to the inadequate local land use practices such as pasture activity, which is undertaken near the fluvial system.

2.1. INTRODUÇÃO

A geomorfologia fluvial estuda os sistemas fluviais, as formas resultantes do escoamento das águas e tem conexão com várias áreas do conhecimento. A partir dos anos 70, os estudos sobre a geomorfologia fluvial se intensificaram e assumiram uma visão mais ampla, incluindo a hidrologia superficial e subterrânea e suas relações com a pedologia e a ecologia (CUNHA, 1995). Nos últimos anos, a geomorfologia fluvial tem se preocupado com as obras de engenharia decorrentes do uso e ocupação ao longo das redes de drenagem das bacias hidrográficas, que muitas vezes ocorre de forma inadequada.

O leito fluvial corresponde ao espaço físico ocupado pelo escoamento das águas e tradicionalmente é compartimentado em três setores: leito menor leito maior e leito maior excepcional. Entretanto, a caracterização dos tipos de leito, nem sempre é uma tarefa simples, uma vez que as interfaces nem sempre são bem definidas e suas inter-relações podem variar de um curso d´água para outro ou mesmo em setores diferentes de um mesmo curso d´água. O leito menor é a porção do curso d'água que possui margens bem definidas, correspondendo à parte do canal ocupada pelas águas e cuja frequência é um impeditivo para o crescimento e desenvolvimento da vegetação. O leito maior, também denominado periódico ou sazonal, é ocupado pelas águas ao menos uma vez por ano, durante o período chuvoso. Ao contrário do leito menor, nestas condições é possível ocorrer a fixação de vegetação adaptada a estes ambientes. O leito maior excepcional é ocupado durante as grandes cheias, no decorrer das enchentes. A frequência de ocorrência de escoamento neste tipo de leito depende da variabilidade climática regional. No caso da bacia do rio Paraíba do Sul, em 2009, a maior parte dos cursos d´água teve um comportamento de cheia excepcional, atingindo áreas relativamente bem distantes do seu leito menor.

Outro aspecto que classifica um curso d´água é a fisionomia que este apresenta ao longo de seu perfil longitudinal que, de acordo com Leopold e Wolman (1960), pode ser retilínea, anastomosada e meândrica (Figura 1).

Figura 1 – Padrões de drenagem em cursos de água (BIGARELLA; SUGUIO; BECKER, 1979).

Esta classificação é resultante de um conjunto de fatores incluindo descarga líquida, carga sedimentar, declividade, largura, profundidade do leito, velocidade de fluxo e rugosidade do leito (SUGUIO; BIGARELLA, 1990). De fato, na natureza existem diversos padrões de drenagem intermediários, ou que representam subdivisões destes padrões principais. Desta forma, Schumm (1977), com base apenas na sinusiodade, dividiu os canais de drenagem em, meandrante (tortuoso, irregular e regular), transicional e reto. Já a classificação de Kellerhals et al. (1976) considera questões relacionadas a obras de engenharia, levando em conta a forma dos canais, a presença de ilhas e de rugosidade do fundo do leito fluvial.

Os canais retilíneos são pouco frequentes e representam trechos curtos, a não ser quando são controlados por lineamentos tectônicos. A condição básica para a existência de um canal retilíneo está associada a um leito homogêneo e que não ofereça resistência ao fluxo da água. Os canais anastomosados caracterizam-se por apresentar volume significativo de carga de fundo que, associado às variações de descarga, formam múltiplos canais separados por ilhas assimétricas, de composição arenosa e/ou pedregosa, situadas no interior do leito. Conforme ressalta Cunha (1995), o perfil transversal dos canais anastomosados é largo, raso e grosseiramente simétrico com pontos altos formados pelos bancos de areia, e baixos, que são os talvegues dos canais. O padrão anastomosado se desenvolve quando ocorre um conjunto de condições favoráveis, de natureza climática, pedológica, geomorfológica e geológica. O padrão meandrante está associado às regiões de clima úmido e com boa cobertura vegetal e, ao contrário do anastomosado, possui um único canal, que transborda na época das cheias. Os meandros se desenvolvem melhor na presença de camadas sedimentares de granulação móvel, terrenos com baixas declividades e cargas de fundo e em suspensão relativamente equivalentes (SUGUIO; BIGARELA, 1990). Desta forma, transportam material fino, considerando que a capacidade de transporte é bem mais baixa e uniforme quando comparada aos canais anastomosados. Os padrões meândricos representam uma condição de estabilidade do canal e um ajustamento às variáveis hidrológicas incluindo largura e profundidade do canal, velocidade dos fluxos, rugosidade do leito, carga sólida e vazão. Entretanto, esta estabilidade é relativamente frágil, particularmente em ambientes altamente modificados pela ação antrópica, como por exemplo, as áreas férteis próximas aos meandros, que são utilizadas para atividades agropecuárias. Silva e Wilson Junior (2007) ressaltam que a interferência antrópica de forma descontrolada e intensa em uma bacia altera o equilíbrio sedimentológico de seus cursos d´água, e dificulta ou até mesmo impossibilita fazer correlações analíticas entre parâmetros hidráulicos e sedimentológicos.

Esta diversidade de padrões pode assumir formas complexas, ou seja, a superposição de configurações fluviais (anastomosado e meandrante) em um mesmo local (SUGUIO; BIGARELLA, 1990). Neste aspecto, a evolução geológica e geomorfológica pode assumir uma significativa importância para gerar padrões fluviais de maior complexidade.

A região do Vale do Paraíba é uma das mais variadas e interessantes do ponto de vista geológico e geomorfológico do país. A reativação tectônica da plataforma brasileira, ocorrida durante o período Cenozóico, criou as condições para a evolução, na região, de um sistema de *rift* responsável pela grande diversidade geológica encontrada na região, que por sua vez, veio acompanhada de uma significativa variedade nas formas de relevo (PONÇANO et al., 1981).

Ao contrário do modelo largamente difundido de bacias hidrográficas, com relevos sendo progressivamente atenuados, de montante a jusante, o processo de tectonismo ocorrido na região produziu bacias hidrográficas de afluentes com sistemas de drenagem peculiares, nos quais as porções de relevo íngreme (a montante) contrastam claramente com as regiões de baixas a baixíssimas declividades, encontradas na região próxima ao exutório (SOARES, 2005). Esta “quebra de relevo” nítida e acentuada estabeleceu um comportamento geométrico dos cursos d´água que, muitas vezes, não se coadunam com os padrões de drenagem clássicos. Em alguns casos, observa-se uma maior complexidade nestes sistemas de drenagem evidenciados, principalmente, pela sobreposição de mais de um padrão de drenagem.

O conhecimento mais detalhado da dinâmica dos sistemas de drenagem superficial é fundamental para a compreensão dos processos do meio físico de natureza hidroclimatológica que ocorrem em uma bacia hidrográfica. Os processos hidroclimatológicos que interferem no meio físico, incluem os de movimentação lenta, como os que promovem o assoreamento do leito do rio, bem como os de movimentação rápida, como o de inundação. Desta forma, a análise dos padrões de drenagem, fornece subsídios à compreensão do funcionamento de uma bacia hidrográfica e de sua suscetibilidade à ocorrência de desastres naturais, particularmente os relacionados às inundações intensas ou *flash flood* (BRAS, 1990; ORTEGA; HEYDT, 2009; RUIZ-VILLANUEVA et al., 2010). Estes processos estão relacionados a fenômenos de baixa previsibilidade que, por consequência, podem promover alterações irreversíveis ao meio físico e causar acidentes fatais e graves prejuízos econômicos.

As chuvas que ocorreram nos últimos verões (2008/2009/2010) afetaram, de maneira significativa, várias regiões do país causando graves desastres naturais, como inundações e escorregamentos. Na região do Vale do Paraíba, estes processos apresentaram intensidade variada tendo, em alguns casos, repercussão nacional como os que ocorreram no município de Guaratinguetá.

O ribeirão Guaratinguetá é um dos afluentes da margem esquerda do rio Paraíba do Sul, constituindo o principal manancial de abastecimento público do município. Pode-se afirmar que esta bacia é representativa das atividades econômicas desenvolvidas na região do Vale do Paraíba, sendo considerada pelo Comitê de Bacia do Rio Paraíba do Sul, como uma das bacias prioritárias para a implementação de programas de melhoria da quantidade e da qualidade de água.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos geológicos e geomorfológicos sobre padrões de drenagem como, o anastomosado e o meândrico, que se superpõem na bacia do ribeirão Guaratinguetá e, por meio desta avaliação, discutir suas relações com a ocorrência das inundações rápidas durante os últimos eventos de precipitação extrema, que causaram vários danos à infra-estrutura viária, em propriedades rurais e alguns bairros da área urbana.

2.2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1. Localização da área de estudo

O ribeirão Guaratinguetá é um afluente do Rio Paraíba do Sul, situado na região conhecida como Médio Vale do Paraíba. O ribeirão nasce na Serra da Mantiqueira e tem todo o seu trajeto inserido no município de Guaratinguetá, desaguando em sua área urbana (Figura 2). A bacia está compreendida entre as coordenadas geográficas de 22º 40’ 50,334” a 22º 48' 25,195" de latitude Sul e 45º 11' 30,046" a 45º 26' 20,226" de longitude Oeste, ocupando uma área aproximada de 164,0 km^2, o que corresponde a cerca de 20% da área total do município de Guaratinguetá, que é de 734 km^2.

Figura 2 – Localização da área de estudo.

2.2.2. Caracterização do Meio físico

A seguir serão apresentadas as principais características do meio físico, biótico e antrópico da bacia hidrográfica em estudo.

As características geológicas, a diversidade do relevo, as elevadas taxas de pluviosidade são alguns dos principais fatores que influenciaram nas características dos solos encontrados na região. A abordagem pedológica tem como base o levantamento de Oliveira et al. (1999). Nos levantamentos de Soares (2005) foram apresentadas cinco unidades pedológicas: Latossolos Amarelos (LA), Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA), Cambissolos Háplicos (CX), Cambissolos Húmicos (CH) e Gleissolos Melânicos (GM). No atual estudo, esse mapa de Soares (2005) foi modificado devido à necessidade de inclusão da unidade pedológica referente aos solos aluviais (Neossolo Flúvico – RU), pois foi verificado em levantamentos de campo que ao longo do ribeirão, os solos, anteriormente descritos como Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo, correspondem a solos aluviais (Tabela 1).

Tabela 1 – Classes de solo da bacia do ribeirão Guaratinguetá (modificado de Soares, 2005).

Classe de solo	**Simbologia**	**Área (km²)**	**Área (%)**
Cambissolos Háplicos	CX	42,40	25,93
Cambissolos Húmicos	CH	16,02	9,80
Gleissolos Melânicos	GM	10,64	6,50
Latossolos Amarelos	LA	44,70	27,35
Latossolos Vermelho-Amarelos	LVA	30,60	18,72
Neossolo Flúvico	RU	19,13	11,70
Área total		**163,49**	**100,00**

O ribeirão Guaratinguetá está inserido na bacia do Rio Paraíba do Sul e é um de seus principais afluentes da margem esquerda. O Rio Paraíba do Sul possui, aproximadamente, 55.500 km², englobando os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. Os principais afluentes do ribeirão Guaratinguetá à montante, em área de cabeceira e médio curso superior, são os ribeirões Taquaral, Gomeral e do Sino, e, em sua porção à jusante, nas áreas de várzea, não há contribuições expressivas. Sua nascente principal localiza-se a aproximadamente, 1.997 metros de altitude, na Serra da Mantiqueira, e seus dados de vazão, de acordo com o relatório do SAEG (2005), são:

- Vazão específica (Qesp): 21,9 L/s.km;
- Vazão média (Qmédia): 3.605,7 L/s;
- Vazão mínima de 7 dias, com período de retorno de 10 anos (Q7,10): 1.199,0 L/s.

De acordo com o estudo realizado por Soares (2005) a bacia do ribeirão Guaratinguetá situa-se entre 527 metros de altitude, próximo à foz e 2.000 metros, na área da nascente do ribeirão do Sino, na Serra da Mantiqueira. Devido aos fatores como, altas altitudes e depressões intermontanas (Figura 3), ocorre uma variação climática significativa na bacia, com temperaturas mais elevadas na porção mais à sudeste, acrescida da problemática da urbanização, e temperaturas mais baixas na região da Serra da Mantiqueira, devido às altas altitudes. Segundo a classificação de Köppen o Município de Guaratinguetá pertence à classe climática Cwa, que corresponde ao clima mesotérmico, com inverno seco e verão chuvoso, e temperatura média superior a 22°C, no mês mais quente. A temperatura média das máximas registrada é de 35°C e a temperatura média das mínimas registrada é de 3,9°C. A precipitação média anual neste trecho da bacia do Paraíba do Sul é da ordem de 1.400mm, ocorrendo, porém, uma grande variabilidade anual, alcançando valores entre 1.300 e 2.000 $mm.ano^{-1}$ (SIMÕES; BARROS, 2007) e uma grande variabilidade espacial (SILVA, 1999; SILVA; SIMÕES, no prelo). Diante de sua importância regional, a Bacia do Rio Paraíba do Sul, em seu setor paulista, dispõe de uma base de dados pluviométrica significativa e disponibilizada pelo Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo (SIGRH). No caso da bacia do ribeirão Guaratinguetá, estão disponíveis registros mensais e diários de duas estações pluviométricas com séries históricas relativamente atualizadas e com séries históricas temporais em torno de 50 anos. A bacia não dispõe de estações pluviográficas, assim como inexistem postos fluviométricos em seu interior. De acordo com o relatório do SAEG (2005) a precipitação anual total na Bacia do ribeirão Guaratinguetá é de, aproximadamente, 1.262mm. O déficit e o excedente hídrico são de, aproximadamente, 78,8 mm e 326,6 mm, respectivamente.

A bacia apresenta cobertura vegetal variada, condicionada por fatores, como, relevo e clima. De acordo com o relatório do SAEG (2005) possui as seguintes formações vegetais: Floresta Ombrófila Densa (remanescentes da Mata Atlântica); Floresta Estacional Semidecidual; Mata de Várzea; Campo de Altitude; Capoeira; Vegetação Arbórea Natural; Vegetação Arbustiva Natural e Campo/Pastagem.

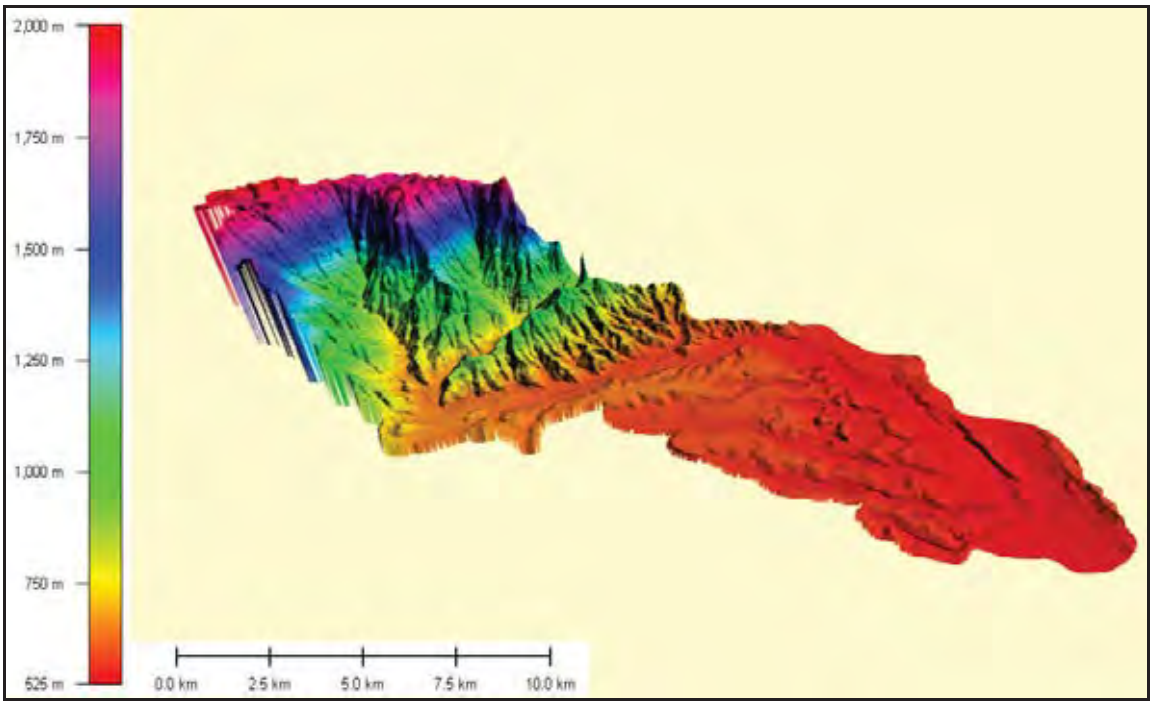

Figura 3 – Modelo digital de elevação 3D da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá.

A fauna é muito diversificada e rica em espécies, sobretudo na região da Serra da Mantiqueira. Dentre as diversas espécies, encontram-se algumas ameaçadas de extinção, como o bugio, a jaguatirica, a lontra e o muriqui (uma espécie de mono-carvoeiro). Ocorrem ainda, espécies indicadoras de boa qualidade ambiental, como o sapo de chifre e a perereca-verde. A avifauna apresenta diversas espécies catalogadas, sendo as mais comuns, o trinca-ferro, o tico-tico, o bem-te-vi, os sabiás e as garças brancas (SAEG, 2005).

Utilizando o Levantamento Censitário das Unidades de Produção Agropecuária (LUPA) de 2008, censo realizado pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, foi possível obter informações de 154 unidades de produção agropecuárias cadastradas na bacia. Algumas das informações obtidas são detalhadas a seguir:

- Total de UPAS: 154
- Área total cadastrada: 105,276 km²
- Área de cobertura natural cadastrada: 15,869 km²
- Área de pastagem cadastrada: 77,097 km²
- Área de cultura perene cadastrada: 0,042 km²
- Área de cultura temporária cadastrada: 8,671 km²
- Área de reflorestamento cadastrada: 0,423 km²

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1. Geologia e Geomorfologia

O mapa geológico utilizado foi produzido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1981), para todo o Estado de São Paulo em escala 1:500.000. Ainda que o mapa geológico disponível para a região esteja em pequena escala, o contato geológico abrupto entre a sequência de rochas pré-cambrianas e as rochas sedimentares não trouxe problemas de incompatibilidade entre a escala do mapa e o tamanho da bacia estudada (Figura 4). Cerca de 50% da bacia é constituída por rochas pré-cambrianas (ígneas e metamórficas), situadas em sua porção oeste e cerca de 50% é constituída por rochas sedimentares de idade Cenozóica, situadas em sua porção leste. As principais rochas encontradas no domínio geológico de idade pré-cambriana são migmatitos e gnaisses (PSeM), xistos (PSpX) e granitos (PSγm). As rochas sedimentares encontradas na bacia são arenitos e argilitos (TQc) e sedimentos inconsolidados de idade Quaternária como areias e argilas (Qa), depositados próximos aos principais cursos de água.

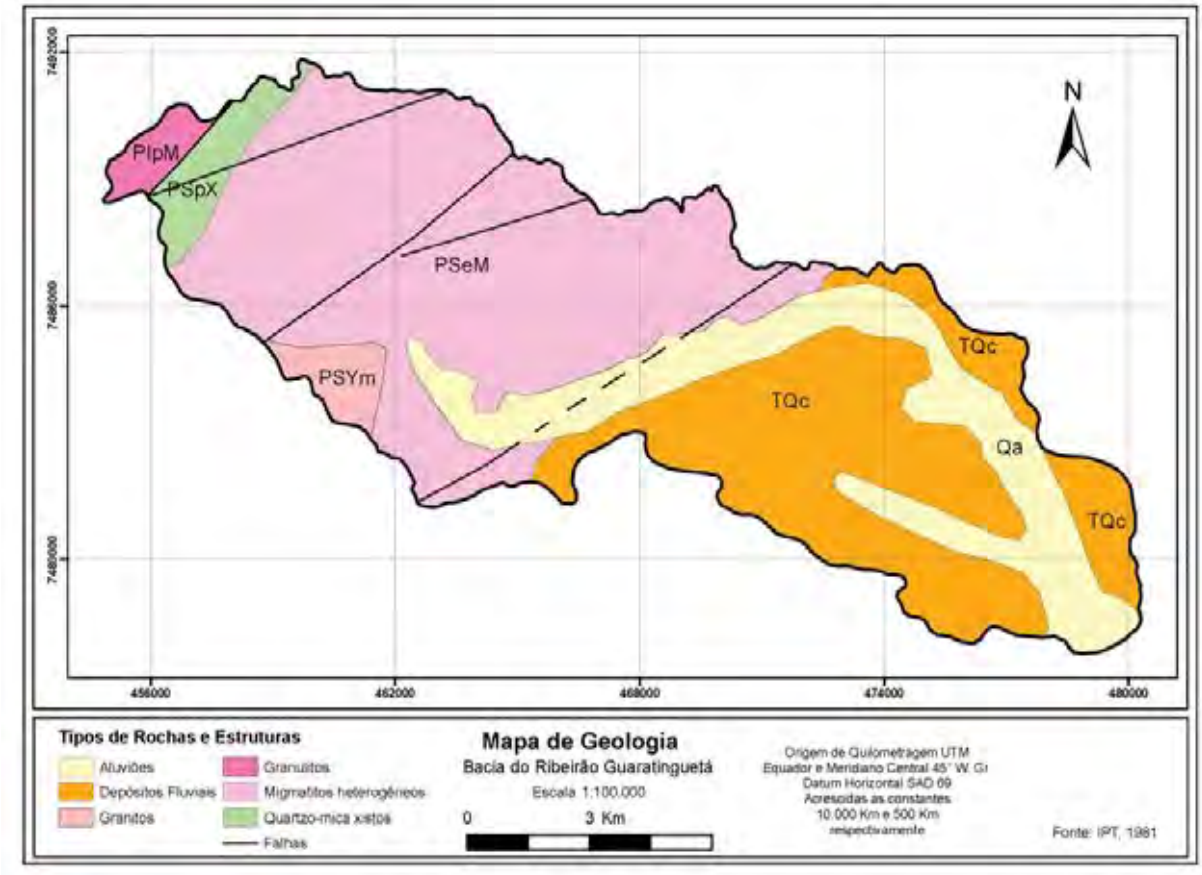

Figura 4 – Mapa Geológico do Estado de São Paulo, com recorte da área de estudo (IPT, 1981).

Além das diversas unidades litológicas, o mapa geológico mostra as principais estruturas de origem tectônica que, na área de estudo, são representadas por lineamentos de direção NE-SW. No caso da área de estudo, o efeito mais visível é o controle que os lineamentos geológicos exercem sobre alguns sistemas fluviais, que apresentam padrões retilíneos. Este é o caso do ribeirão Guaratinguetá em sua porção superior o qual possui orientação retilínea de direção NE-SW e, possivelmente, corre sobre um antigo lineamento.

Com base no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (PONÇANO et al., 1981), reconhece-se na bacia do ribeirão Guaratinguetá uma grande diversidade de unidades geomorfológicas (Figura 5). Na porção noroeste da bacia ocorrem os relevos *Escarpas Festonadas (521), Morros Paralelos (244) e Morros com Serras Restritas (245)* e *Morrotes Baixos (231),* caracterizados, de uma maneira geral, por possuírem alta densidade de drenagem, vales fechados e planícies aluvionares interiores restritas. Na porção sudeste da bacia ocorre a unidades correspondendo a *Colinas Pequenas com Espigões Locais (214)* constituídos de relevos ondulados onde predominam amplitudes menores que 50 metros e padrões de drenagem de baixa a média densidade. Este tipo de relevo está mais associado às sequências de rochas sedimentares. Ainda na porção sudoeste da bacia encontram-se as *Planícies Aluviais (111)* correspondendo a áreas com declividades inferiores a 5%, sendo parte delas sujeitas periodicamente à inundação. As maiores áreas de planície aluvionar são aquelas que acompanham o curso principal do ribeirão Guaratinguetá, chegando a atingir em torno de mil metros de largura. Planícies aluvionares mais estreitas são encontradas acompanhando os principais afluentes como o Gomeral e o Taquaral.

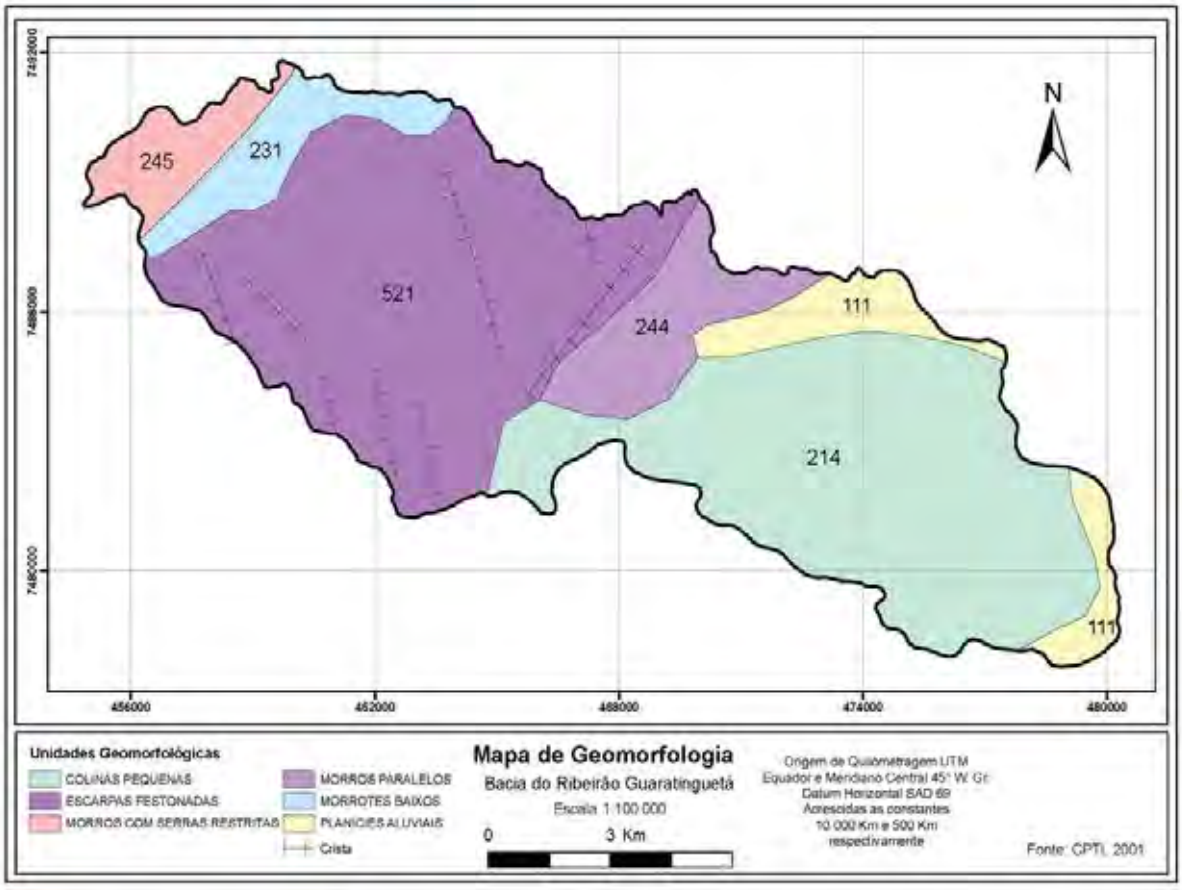

Figura 5 – Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, com recorte da área de estudo (CPTI, 2001).

2.3.2. Densidade de Drenagem

Conceitualmente, a densidade de drenagem é resultante do somatório dos canais dividido pela área da bacia. A densidade de drenagem dificilmente pode ser correlacionada com um único parâmetro do meio físico; ao contrário, ela reflete as características físicas de uma bacia como um todo, sendo influenciada por fatores como substrato rochoso, evolução pedogenética, clima, relevo e cobertura vegetal.

Conforme se observa na figura 6, os principais cursos d'água formadores do ribeirão Guaratinguetá (ribeirões do Sino, do Taquaral e do Gomeral), situam-se no contexto de rochas pré-cambrianas e relevos de morros e serras (porção NW da bacia), possuindo alta densidade e padrões dendríticos a retilíneos.

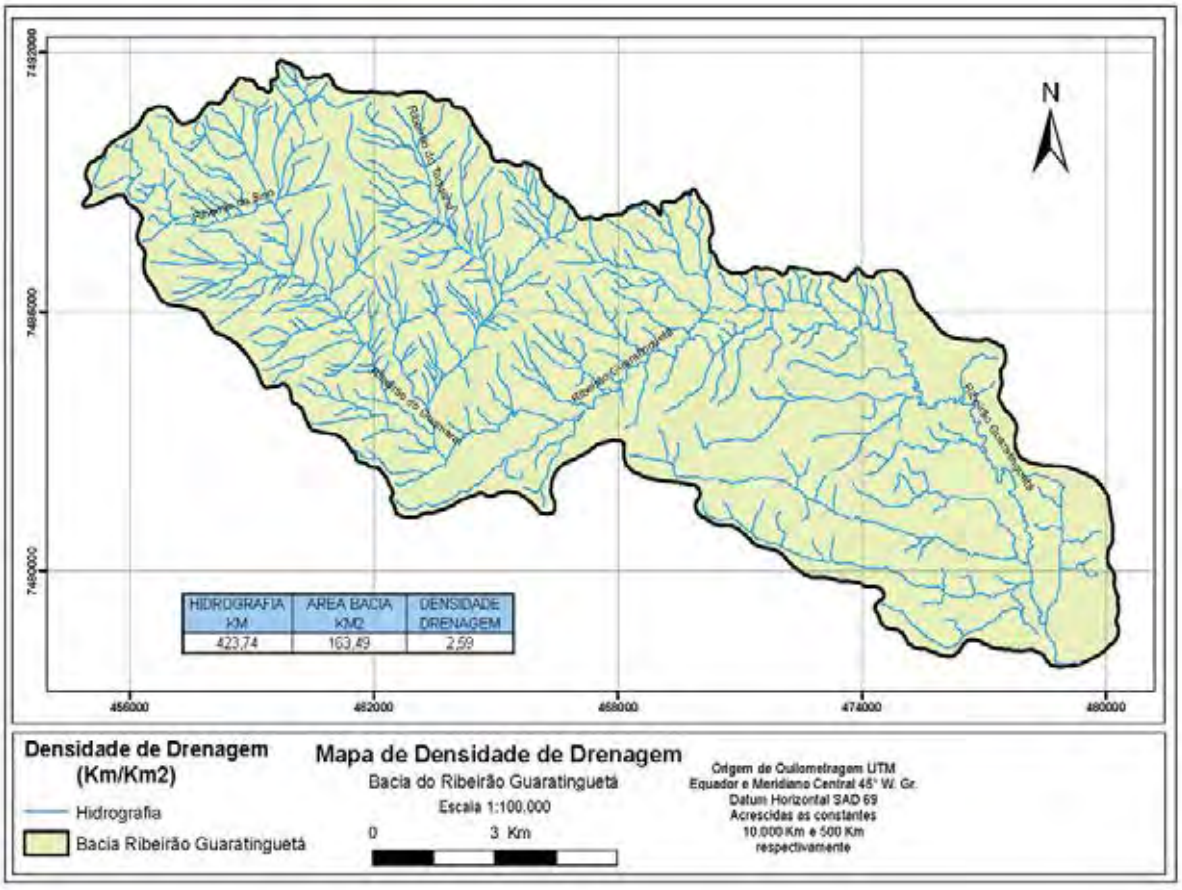

Figura 6 – Mapa da rede de drenagem da bacia do ribeirão Guaratinguetá (SOARES, 2005).

A evidência de ângulos retos entre os canais, que caracterizam o padrão retilíneo, sugere que os sistemas de lineamentos regionais tiveram uma significativa influência na formação e evolução da drenagem na região montante da bacia. Na porção SE da bacia, o sistema de drenagem teve todo o seu traçado esculpido em terrenos compostos por rochas sedimentares, com baixa a média densidade de drenagem e padrões tipicamente arborescentes (dendríticos), indicando ausência de controle estrutural sobre a formação da drenagem.

2.3.3. Geomorfologia Fluvial

O ribeirão Guaratinguetá tem suas nascentes situadas nos relevos de escarpas da Serra da Mantiqueira com altitudes que podem alcançar mais de 1.800 m. Do ponto de vista fluvial, o ribeirão Guaratinguetá é o resultado da confluência dos ribeirões Taquaral, Gomeral e Sino. Nesta porção à montante, o substrato geológico é formado por rochas ígneas e metamórficas associadas com relevos de escarpas festonadas e morros com serras restritas. Situado na metade inferior da bacia o ribeirão Guaratinguetá atravessa uma região constituída de rochas

sedimentares (consolidadas e inconsolidadas), de relevos colinosos e de planícies aluvionares. Neste trecho da bacia, o ribeirão Guaratinguetá não recebe contribuições expressivas.

As especificidades geológicas e geomorfológicas encontradas na porção oeste da bacia refletem sua intensa densidade de drenagem. Os afluentes do ribeirão Guaratinguetá (Taquaral, Gomeral e Sino) possuem configurações fluviais mais retilíneas, controladas, em parte, pelo fraturamento das rochas ígneas/metamórficas e, em parte, pelo relevo acentuado que favorece o desenvolvimento de vales encaixados e planícies aluvionares restritas.

O ribeirão Guaratinguetá ocupa extensas planícies de baixíssima declividade e é resultante da confluência destes cursos d'água que descem das áreas montanhosas e escoam por cones aluviais desenvolvidos no sopé dos morros. Nestas condições, o padrão retilíneo e bem delimitado dos cursos d'água que ocorriam à montante é substituído por uma configuração anastomosada e dinâmica, que é resultante do grande volume de carga de fundo proveniente das regiões mais elevadas. Conforme observa Christofoletti (1981), os cursos d'água formados nestas condições apresentam uma mobilidade muito grande e uma multiplicidade de canais pequenos e rasos que se subdividem e se reúnem de forma aleatória separados por bancos e ilhotas de diferentes dimensões (Figura 7a).

As margens dos rios anastomosados não são nitidamente marcadas e os bancos de areia são compostos de material aluvial. Um fato que desperta a atenção é a grande quantidade de seixos com diâmetros superiores a 20 cm e que podem alcançar mais de 30 cm (Figura 7b). Estes seixos são normalmente sub-arredondados possuindo composição bastante variada: desde monominerálicos, formados principalmente por quartzo, até fragmentos de rochas, como gnaisses e milonitos. A grande dimensão dos seixos é provavelmente devida, também, às condições tectônicas da região. Desta forma, regiões próximas aos lineamentos geológicos propiciam o transporte de carga detrítica de tamanhos elevados e sua posterior deposição em bancos de areia a uma distância relativamente próxima destes lineamentos.

Figura 7 – Ilhotas e outros depósitos no interior do ribeirão Guaratinguetá (a) e seixos transportados no ribeirão Guaratinguetá (b).

Outra característica do ribeirão Guaratinguetá é o fato de apresentar, no trecho próximo ao contato entre planícies e relevos de morros, formas meandrantes, caracterizadas por margem convexa com agradação (deposição) e margens côncavas com degradação (erosão). Esta superposição de configurações fluviais (anastomosado e meandrante) em um mesmo local foi explicada por Suguio e Bigarella (1990), como sendo devida à variabilidade intra-anual da precipitação: predomínio de anastomosamento em períodos de seca e de meandros nos períodos de cheia.

Por outro lado, o fato de coexistir a deposição de partículas de grandes dimensões, como os seixos, em uma das margens e uma forte atividade erosiva nas margens opostas, evidencia que as velocidades médias de corrente são muito elevadas. Para que seixos com mais de 10 cm de diâmetro, como é frequente no leito do ribeirão Guaratinguetá, tenham seu transporte associado à atividade erosiva da água, são necessárias velocidades superiores a 200 $cm.s^{-1}$ (Figura 8). Estas elevadas velocidades atingidas pela água explicam a grande quantidade de seixos e areia grossa nas margens e ilhas no interior dos canais.

A posição entre os pontos A e B, na parte superior e à direita na Figura 8, representa, de maneira aproximada, a condição em que se encontra o ribeirão Guaratinguetá, especialmente no trecho próximo ao contato entre as rochas pré-cambrianas e a bacia sedimentar. As velocidades de corrente estimadas são muito elevadas, mas são condizentes com o que vem ocorrendo na bacia do ribeirão Guaratinguetá nos últimos anos. As precipitações pluviométricas que ocorreram no verão de 2009 na região do Vale do Paraíba foram muito superiores à média histórica, e apresentaram vários eventos intensos, com alturas de chuva acima de 50 mm diários, que atingiram diferentes regiões no Médio Vale do Paraíba. No caso da área de estudo, dois eventos pluviométricos de alta intensidade atingiram a bacia

do ribeirão Guaratinguetá nos dias 10 e 24 de fevereiro de 2009.

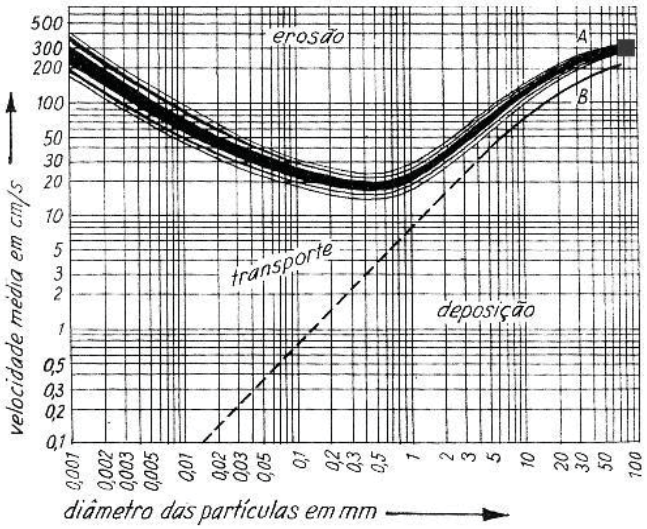

Figura 8 – Gráfico de velocidade média da água, considerando o diâmetro das partículas e a condição do material particulado em um curso d'água (SUGUIO; BIGARELLA, 1990).

Embora seja difícil delimitar as bordas dos cursos d'água com padrão anastomosado, foi possível identificar vários trechos do ribeirão com mudanças significativas no curso d'água antes e depois destes eventos de precipitação extrema. Tais mudanças poderiam ser melhor avaliadas a partir de imagens de satélite de alta resolução e fotografias aéreas multitemporais. Entretanto, estes dados não foram utilizados nesta pesquisa, em virtude do seu elevado custo de aquisição e indisponibilidade em bases de acesso livre.

Apesar dos efeitos geológicos e geomorfológicos atuarem de forma direta nos padrões de drenagem que predominam na bacia do ribeirão Guaratinguetá, as atividades antrópicas também têm contribuído, de forma significativa, para que estes padrões sejam alterados de forma mais intensa. Grande parte da bacia é ocupada por pastagens, onde ocorre a pecuária em sistema extensivo, e as áreas de entorno do ribeirão e as várzeas são ocupadas, principalmente, pelos cultivos de milho e de arroz irrigado. A instalação de hotéis, pousadas, clubes e pesqueiros, em especial, nas áreas de cabeceira da bacia, também tem gerado preocupações, com relação à disposição de esgoto e lixo, bem como a ocupação desordenada do solo. Na maioria das vezes, o uso e ocupação do solo na bacia foram e ainda têm sido feitos sem critério, o que tem gerado desequilíbrios e impactos, como a instalação de processos erosivos e, em consequência, o assoreamento do curso d'água e as enchentes nos períodos chuvosos.

2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocorrência de inundações rápidas ou *flash floods* em áreas rurais vem sendo evidenciada em várias sub-bacias hidrográficas do Rio Paraíba do Sul, mostrando que a região do Vale do Paraíba possui elevada vulnerabilidade a este fenômeno. A complexidade geológica da região foi responsável por uma paisagem contrastante e de baixa transição, onde regiões de morros e serras, com elevadas declividades, fazem nítido contato com extensas planícies aluvionares, de baixíssima declividade. A densidade de drenagem à jusante, em ambiente de sedimentos consolidados e inconsolidados, não é capaz de comportar a grande quantidade de água proveniente do ambiente geológico constituído de rochas ígneas e metamórficas à montante. Por suas condições geológicas e geomorfológicas, a bacia do ribeirão Guaratinguetá é representativa do que ocorre em diversas bacias afluentes da margem esquerda do rio Paraíba do Sul.

Considerando o cenário atual, que prevê aumento dos eventos extremos na região sudeste do Brasil (PARRY et al., 2007), é preocupante que, no Vale do Paraíba, a mancha urbana continue a se expandir sobre as áreas de planícies inundacionais e sobre o pouco que resta dos ecossistemas de áreas úmidas relacionados aos cursos d'água. Nas áreas à montante, as condições de pastagem degradada e pisoteio intensivo que predominam nos relevos de morros e serras geram condições favoráveis para o aumento do escoamento superficial e baixo armazenamento de água no solo. Também é preocupante o provável aumento do impacto destas inundações à qualidade da água e suas implicações nos processos de tratamento de água, ainda que faltem estudos que correlacionem as inundações com a qualidade da água.

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAS, *An introduction to hydrologic science*. R. Hydrology. Reading: Addison-Wesley. 1990. 643p.

BIGARELLA, J. J.; SUGUIO, K.; BECKER, R.D. Ambiente fluvial: ambientes de sedimentação, sua interpretação e importância. Curitiba: Editora UFPR, 1979. 183p.

BRIDGE, J. *River and floodplains: Forms, processes, and sedimentary record.* Victoria: Blackwell, 2003. 491 p.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia fluvial.* São Paulo: Edgard Blucher, 1981. 325 p.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL. *Projeto qualidade das águas e controle da poluição hídrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul:* Relatório Final, Governo de São Paulo/CBH - Rio Paraíba do Sul e Serra da Mantiqueira. São Paulo: CEIVAP, 2000. 256p.

COMPANHIA DE SERVIÇOS DE ÁGUA, ESGOTO E RESÍDUOS DE GUARATINGUETÁ – SAEG. "*Projeto de monitoramento da qualidade de água do ribeirão Guaratinguetá – Fase I, Diagnóstico da utilização de agroquímicos em agricultura irrigada, cadastro de usuários de água e levantamento da ocupação e uso do solo*" – Relatório Final. Geoambiente, 2005. 97p.

COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL (CATI). *Instituto de Economia Agrícola. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Levantamento censitário de unidades de Produção Agrícola do Estado de São Paulo – LUPA 2007/2008.* São Paulo: SAA/CATI/IEA, 2008.

COOPERATIVA DE SERVIÇO, PESQUISA TECNOLÓGICA E INDUSTRIAIS (CPTI). *Planos de Bacia UGRHI1 - Serra da Mantiqueira, UGRHI2 – Paraíba do Sul.* São Paulo, 2001.

CUNHA, S. B. *Geomofologia: Uma atualização de bases e conceitos.* Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). *Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000***.** v. 1. São Paulo: IPT, 1981.

KELLERHALS, R.; CHURCH, M.; BRAY, D.I. *Classification and analysis of river processes.* Journal of the Hidraulics Division, v. 102, p. 813-829, 1976.

LEOPOLD, L. B., WOLMAN, M. G. River meanders. *Bull. Geol. Soc. Am.*, [S.l.]. v. 71, p. 769-794, 1960.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. *Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: Legenda Expandida.* Campinas, Embrapa-Solos/IAC, 1999, 64p. e mapa.

ORTEGA, J. A.; HEYDT, G. G. *Geomorphological and sedimentological analysis of flash-flood deposits: The case of the 1997 Rivillas flood (Spain).* Geomorphology, [S.l.], v. 112, n. 1-2, p. 1-14, 2009.

PARRY, M.; CANZIANI, O.; PALUTIKOF, J.; VAN DER LINDEN, P.; HANSON, C. *Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Working Group II – Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC.* Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F. F. M. DE; PRANDINI, F. L. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.* São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981. 94 p.

RUIZ-VILLANUEVA, V.; DIEZ-HERRERO, A.; STOFFEL, M.; BOLLSCHWEILER, M.; BODOQUE, J. M.; BALLESTEROS, J. A. *Dendrogeomorphic analysis of flash floods in a small ungauged mountain catchment (Central Spain).* Geomorphology, [S.l.], v. 118, n. 3-4, p. 383-392, 2010.

SCHUMM, S. A. *The fluvial system*. [S.l.]: Wiley, 1977. 338 p.

SILVA, J. U. L. *A dinâmica atmosférica e a distribuição de chuvas na região "lesnordeste" paulista.* Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, São Paulo. 206p. 1999.

SILVA, W. M.; SIMÕES S. J. C. *Caracterização espacial da precipitação regional e suas relações com a variabilidade climática - a bacia do rio Paraíba do Sul, sudeste do Brasil.* Revista de Geografia da USP. No prelo.

SILVA, R. C. V.; WILSON JUNIOR, G. *Hidráulica fluvial: Volume II.* Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2007. 255 p.

SIMÕES, S. J. C.; BARROS, A. P. *Regional climate variability and its effects on Brazil's 2001 energy crisis.* Management Environmental Quality, [S.l.], v.18, n. 3, p. 263-273, 2007.

SOARES, P. V. *As interrelações de elementos do meio físico natural e modificado na definição de áreas potenciais de infiltração na porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul.* 2005. 192 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, UNICAMP , Campinas, 2005.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. L. *Ambientes fluviais.* Curitiba: UFPR/UFSC, 1990. 183 p.

CAPÍTULO 3

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO GUARATINGUETÁ (SP)

RESUMO

FERREIRA, Mariana Cassiano. **Uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, SP. In: _____ Proposta para o uso e manejo sustentável da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, SP.** Bauru: UNESP, 2011. Cap. 3, p. 43 – 57. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental).

No Brasil, o uso e ocupação do solo, normalmente, são feitos sem avaliação prévia dos potenciais impactos aos recursos naturais. Assim, a delimitação das áreas de preservação permanente (APPs) é uma importante ferramenta para a gestão destes recursos e para a preservação dos seres vivos que compõem estes ecossistemas. O objetivo deste estudo foi delimitar as APPs da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, afluente do Rio Paraíba do Sul, porção paulista e avaliar se o uso e ocupação destas áreas atendem à legislação ambiental vigente. Para isso, foram utilizados os mapas de uso e ocupação do solo, de drenagem e de declividade e o programa ArcGIS® 9.2 para armazenar o banco de dados geográficos, necessários às análises espaciais da bacia e à delimitação das APPs hídricas e de declividade, realizadas no Laboratório de Análises Geoespacial (LAGE) da UNESP, Campus de Guaratinguetá. Verificou-se que as APPs cobrem 28,45 km², que correspondem a 17,9% da área total da bacia, dos quais 17,7% são APPs hídricas e 0,2% são APPs de declividade. Destas APPs, 56,1% estão sendo utilizadas por atividades agropecuárias, que não atendem aos usos permitidos pela Lei Federal 4.771/1965 (alterada pela Lei Federal 7.803/89) e pela Resolução CONAMA nº 303/2002, sendo as principais responsáveis pelo aumento dos processos erosivos e do assoreamento do ribeirão. Estas informações foram indispensáveis à fundamentação dos projetos e ações de revitalização que estão em fase de implantação na bacia do ribeirão Guaratinguetá.

ABSTRACT

FERREIRA, Mariana Cassiano. **Use and land cover in areas of permanent preservation of Guaratinguetá stream basin in São Paulo State. In: _____ Proposal for the sustainable use and management of Guaratinguetá stream basin in São Paulo State.** Bauru: UNESP, 2011. Cap. 3, p. 43 – 57. (Dissertation – Master in Civil and Environmental Engineering).

In Brazil land use normally don't consider the preservation of the natural resources. For this reason the delimitation of Permanent Preservation Areas (APPs) is one of most important environment instruments aiming to achieve a more rational use of natural resources and preservation of ecosystems. The aim of this study is to apply the geographic information system (GIS) to delimit the APPs along the riverbanks and of the declivity in the Guaratingueta watershed, in the Paraiba do Sul basin and to evaluate the use and occupation of these areas assists to the effective Brazilian environmental legislation. The land use survey was obtained from The Nature Conservation, using digital orthophotos and the APPs were delimited using spatial analyst tools of the ArcGIS® 9.2. Also, it was used physical landscape maps such as drainage and declivity. The ArcGIS® 9.2 was used to store a database of the Guaratingueta watershed and to perform several analytical procedures in a GIS environment. The results showed that 56.1% of the APPs don't attend the allowed uses of the Federal laws and regulations (Lei federal 4771/1965 and Resolução CONAMA 303/2002). Fieldworks in this watershed showed that the most impactants activities are those associated with the agropecuary sector which has increased the linear erosion and the oversedimentation in the main streams. These results are of fundamental importance for the development of actions within the ongoing project "Guaratingueta Watershed Revitalization" which is conducted by UNESP researchers in partnership with the Prefeitura de Guaratinguetá.

3.1. INTRODUÇÃO

A população mundial vem sofrendo as consequências dos impactos ambientais causados pelo uso e ocupação inadequados do solo. Neste sentido, a delimitação de áreas de preservação permanente (APPs) em uma bacia hidrográfica tem o intuito de proteger o meio ambiente e manter a sua composição natural, de maneira a impedir qualquer tipo de alteração proporcionada por ações antrópicas (COSTA et al., 1996). As APPs são áreas de grande importância ecológica, cobertas ou não, por vegetação nativa, que têm como função 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 da população (BRASIL, 1965). As APPs hídricas são áreas que estão diretamente ligadas aos cursos d'água, como as nascentes ou olhos d'água, locais onde a água aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente; os manguezais; a água subterrânea e as matas ciliares, que são formações vegetais das margens dos rios, córregos, lagos, represas e nascentes, que também são conhecidas como matas de galeria, matas de várzea, vegetação ou floresta ripária. As APPs de declividade compreendem as encostas com declividade superior a 45 graus. As APPs são protegidas pelo Código Florestal, que se baseia na Lei Federal nº 4.771/65 (alterada pela Lei Federal nº 7.803/89), e devem ser preservadas e restabelecidas, sendo que o uso indevido é considerado crime ambiental, conforme dispõe a Lei Federal nº 9.605/98. A Resolução CONAMA nº 303/2002 também considera que as APPs são instrumentos de relevante interesse ambiental, integrando o desenvolvimento sustentável, objetivo das presentes e futuras gerações.

Portanto, a caracterização do uso e ocupação do solo fornece uma infinidade de informações sobre o espaço em questão, as quais devem ser avaliadas, integradas e armazenadas, sendo o geoprocessamento, uma tecnologia eficiente na integração de várias ferramentas, dados e programas (ROCHA, 2000). De acordo com Andrade et al. (2009), a delimitação das APPs não é capaz de eliminar por completo os impactos decorrentes do uso e ocupação inadequados do solo em uma bacia hidrográfica, mas é um mecanismo de extrema importância para a gestão e proteção dos recursos naturais. Estes autores, utilizando imagem IKONOS e o Sistema de Informações Geográficas (SIG), verificaram que cerca de 77% das APPs da bacia do São Bartolomeu, localizada no município de Viçosa (MG), estavam sendo utilizadas de maneira incorreta e contrária aos usos permitidos pela legislação ambiental.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi delimitar, por meio da ferramenta SIG e aplicando o software ArcGIS®, as APPs hídricas e de declividade da bacia do ribeirão Guaratinguetá, afluente do Rio Paraíba do Sul, porção paulista, e avaliar entre os diferentes

usos e ocupação do solo adotados, os que estão de acordo com o que estabelece o Código Florestal vigente e a Resolução CONAMA nº 303/2002 para estas áreas de preservação. Esta bacia é de grande importância socioambiental, considerando que cerca de 16% de seu território está contido na Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra da Mantiqueira e constitui o manancial de abastecimento de água do município de Guaratinguetá, estando entre as bacias prioritárias para o Plano de Bacias do Comitê de Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul.

3.2. MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1. Localização da área de estudo

O município de Guaratinguetá está localizado na região do Vale do Paraíba, Estado de São Paulo, entre as coordenadas 22°48'6,48" Sul e 45°11'18,24" Oeste, com uma população aproximada de 113.357 habitantes (IBGE, 2009). O ribeirão Guaratinguetá, afluente da margem esquerda do rio Paraíba do Sul, nasce na Serra da Mantiqueira e tem todo o seu trajeto contido no município de Guaratinguetá (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá na bacia do Rio Paraíba do Sul, porção paulista.

Geograficamente a bacia do ribeirão Guaratinguetá encontra-se no norte do município e compreende parcialmente as cartas topográficas de Guaratinguetá (SF.23-Y-B-VI-4), Delfim Moreira (SF.23-Y-B-VI-1) e Lorena (SF.23-Y-B_VI-2), produzidas pelo IBGE, na escala 1:50.000. De acordo com Soares (2005), a bacia possui uma área de, aproximadamente, 164 km^2, o que corresponde a cerca de 22% da área do município de Guaratinguetá, que é de 734 km^2. Os principais afluentes na sua porção à montante, que compreendem as áreas de cabeceira e médio curso superior, são os ribeirões Taquaral, Sino e Gomeral e na sua porção à jusante, constituída por área de várzea, o ribeirão Guaratinguetá (Figura 2).

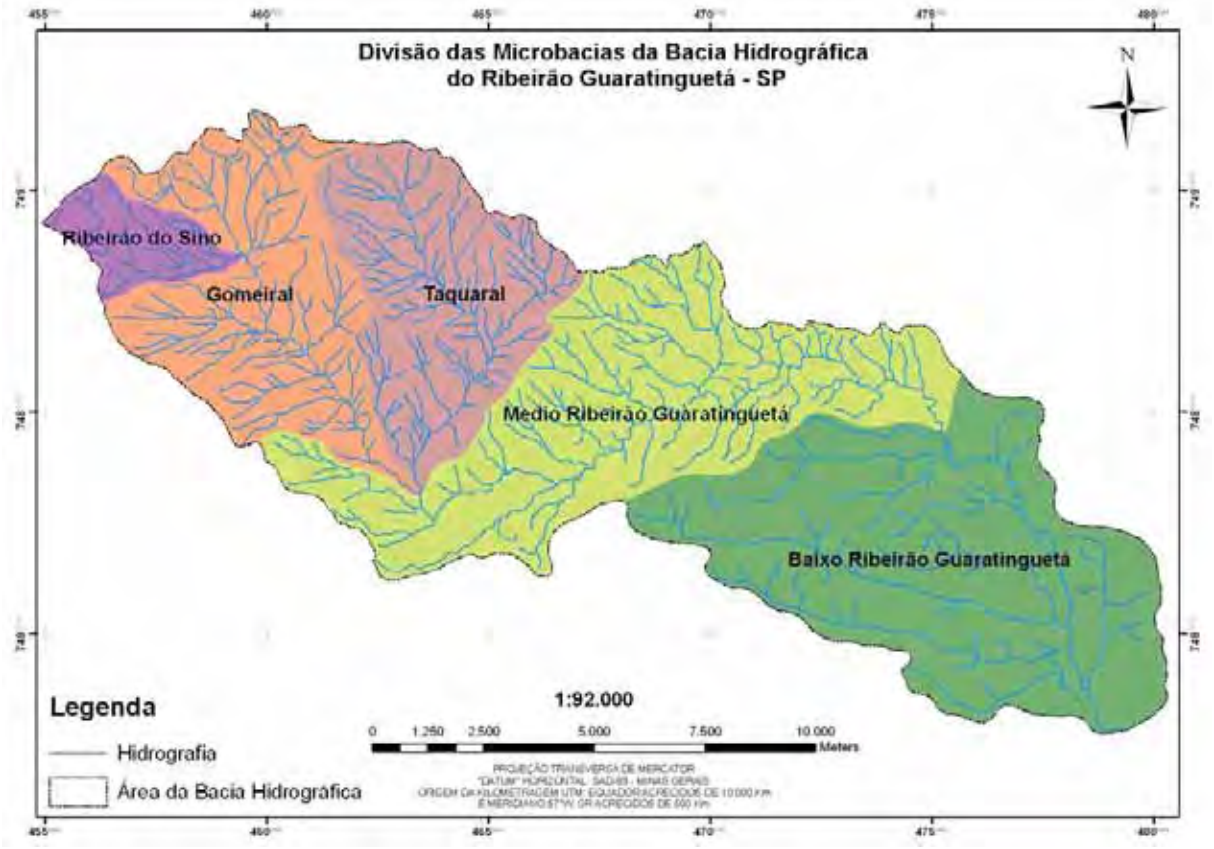

Figura 2 – Mapa da compartimentação das microbacias da bacia do ribeirão Guaratinguetá.

3.2.2. Caracterização do Meio Físico

Para o desenvolvimento deste estudo foram considerados os mapas de declividade e de drenagem da bacia do ribeirão Guaratinguetá, obtidos dos levantamentos realizados por Soares (2005), apresentados na Figura 3. A bacia do ribeirão Guaratinguetá é caracterizada por apresentar uma grande diversidade de relevos, como pode ser observado na Figura 4, que variam de 525,4 a 2005 m de altitude e que propicia uma grande heterogeneidade quanto à sua

hidrografia, tipos de solo, vegetação e ocupação humana, dificultando o manejo sustentável desta bacia.

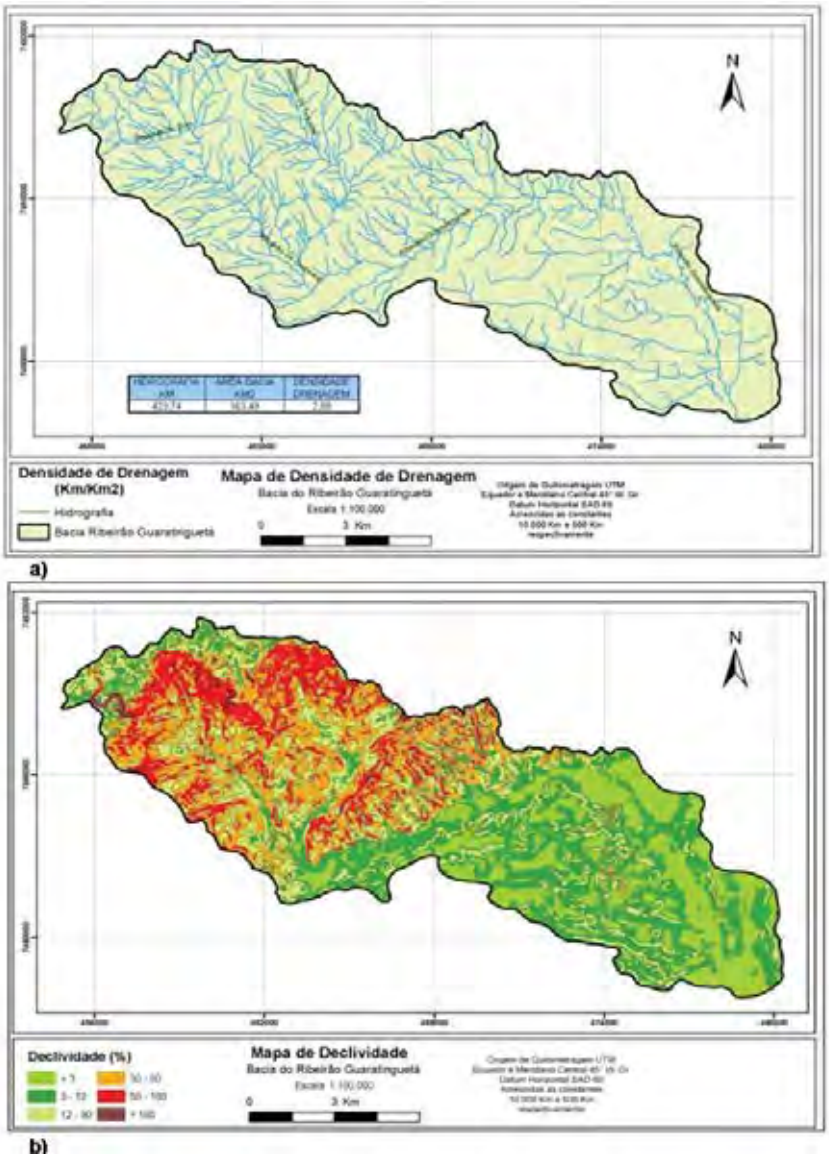

Figura 3 – Mapas de levantamento do meio físico da bacia do ribeirão Guaratinguetá: mapa de drenagem (a) e mapa de declividade (b), conforme Soares (2005).

Figura 4 – Modelo Digital de Elevação da bacia do ribeirão Guaratinguetá (SOARES, 2005).

Com base em Ponçano et al. (1981), as unidades geomorfológicas dominantes na bacia são as escarpas festonadas e as colinas pequenas com espigões locais e, de forma subordinada, morros, morrotes e planícies aluviais. Pelo mapa de declividade verifica-se que as declividades inferiores a 30% correspondem aos terrenos colinosos situados na porção média inferior da bacia e aos terrenos amorreados dos “morros com serras restritas” e “morrotes baixos”, situados no extremo oeste da bacia. As regiões com declividades entre 50 e 100% estão associadas quase que exclusivamente com a unidade de relevo “escarpas festonadas”. As declividades superiores a 100% são espacialmente pouco expressivas, ocorrendo em pequenos trechos de encostas encontrados também na unidade “escarpas festonadas”. O mapa de drenagem mostra que os ribeirões Taquaral e Gomeral, afluentes do ribeirão Guaratinguetá, situam-se no contexto de rochas cristalinas (porção oeste) e a densidade de drenagem difere substancialmente daquela relacionada ao ribeirão Guaratinguetá (porção leste) que teve todo o seu traçado esculpido no ambiente de rochas sedimentares. A partir do banco de dados de drenagem disponibilizados pelo CEIVAP (2000), foi possível quantificar e definir o tipo de uso do solo atual das áreas de nascentes.

3.2.3. Levantamento do uso e ocupação do solo

Os dados de uso e ocupação do solo empregados neste estudo foram obtidos pelo mapeamento realizado pela TNC - The Nature Conservancy (2006), utilizando ortofotos com escala de vôo de 1:30.000 do ano de 2004. Este mapeamento foi gerado por meio de interpretação visual de ortofotos e, a partir da digitalização na imagem dos polígonos, referentes às classes de interesse foram definidas as classes de uso e ocupação contidas na bacia. Também foram obtidos dados do levantamento censitário, realizado pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), das Unidades de Produção Agropecuária (LUPAs) da bacia do ribeirão Guaratinguetá, cadastradas na Secretaria Municipal de Agricultura e Meio Ambiente no início de 2008.

3.2.4. Delimitação das APPs e de seus respectivos usos

As APPs foram delimitadas por meio do software ArcGIS® e as análises espaciais foram realizadas no Laboratório de Análises Geoespacial (LAGE) do Departamento de Engenharia Civil da UNESP, *campus* de Guaratinguetá. A delimitação das APPs hídricas da bacia do ribeirão Guaratinguetá teve como referência o Código Florestal, que se baseia na Lei Federal nº 4.771/65 (alterada pela Lei Federal nº 7.803/89) e a Resolução CONAMA nº 303/02, que estabelecem a faixa de 30 metros marginais ao longo dos cursos d‘água com largura inferior a 10 metros, faixa de 50 metros ao longo dos cursos d’água de 10 a 50 metros de largura, áreas em um raio de 50 metros ao redor das nascentes e faixa marginal de 50 metros em lagoas na zona rural com área inferior a 20 hectares. Para as APPs de declividade foram consideradas as encostas com declividade superior a 45 graus, o que equivale a 100 metros de projeção horizontal.

A área total da bacia, obtida nos mapas utilizados por Soares (2005), foi de 163,49 km², enquanto no mapa de uso e ocupação do solo gerado pela TNC (2006) a área total da bacia foi de 158,6 km², sendo esta última, a área empregada para os cálculos dos diferentes tipos de uso e ocupação adotados na bacia. Para o processo de análise espacial e comparação de informações foi utilizado o *software* ArcGIS® 9.2, de propriedade da empresa ESRI, por meio do qual foi armazenado um banco de dados geográficos. Definidas as APPs hídricas e de declividade, conforme as faixas determinadas pela legislação ambiental, foi gerado um layer com *buffer* em torno dos corpos hídricos e das encostas com declividade superior a 45 graus. Seguindo a metodologia (Anexo 2) descrita por Andrade et al. (2009), após a classificação do

uso e ocupação do solo da bacia e da definição das áreas de APPs, foram realizados cálculos de *overlay* utilizando a ferramenta *intersect* do ArcGIS®, buscando sobrepor o uso e ocupação com as APPs. A ferramenta "intersect" possibilita a interação das camadas do SIG, através é claro da intersecção geográfica, com esse procedimentos é possível correlacionar diversas informações e extrair novos dados. Por meio desta operação foi possível gerar um mapa final contendo todas as APPs no interior da bacia e os diferentes tipos de uso que ocorrem nas mesmas.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela a análise o mapa de uso e ocupação do solo da bacia, apresentado na Figura 5, foi possível verificar que as áreas onde existe menor ação antrópica são exatamente aquelas situadas em seu alto curso, onde ocorrem as maiores declividades, que dificultam o acesso e o desenvolvimento de atividades produtivas. Por outro lado, as áreas mais planas são as que sofrem maior pressão antrópica, sendo ocupadas principalmente com pastagem e cultivos de várzea.

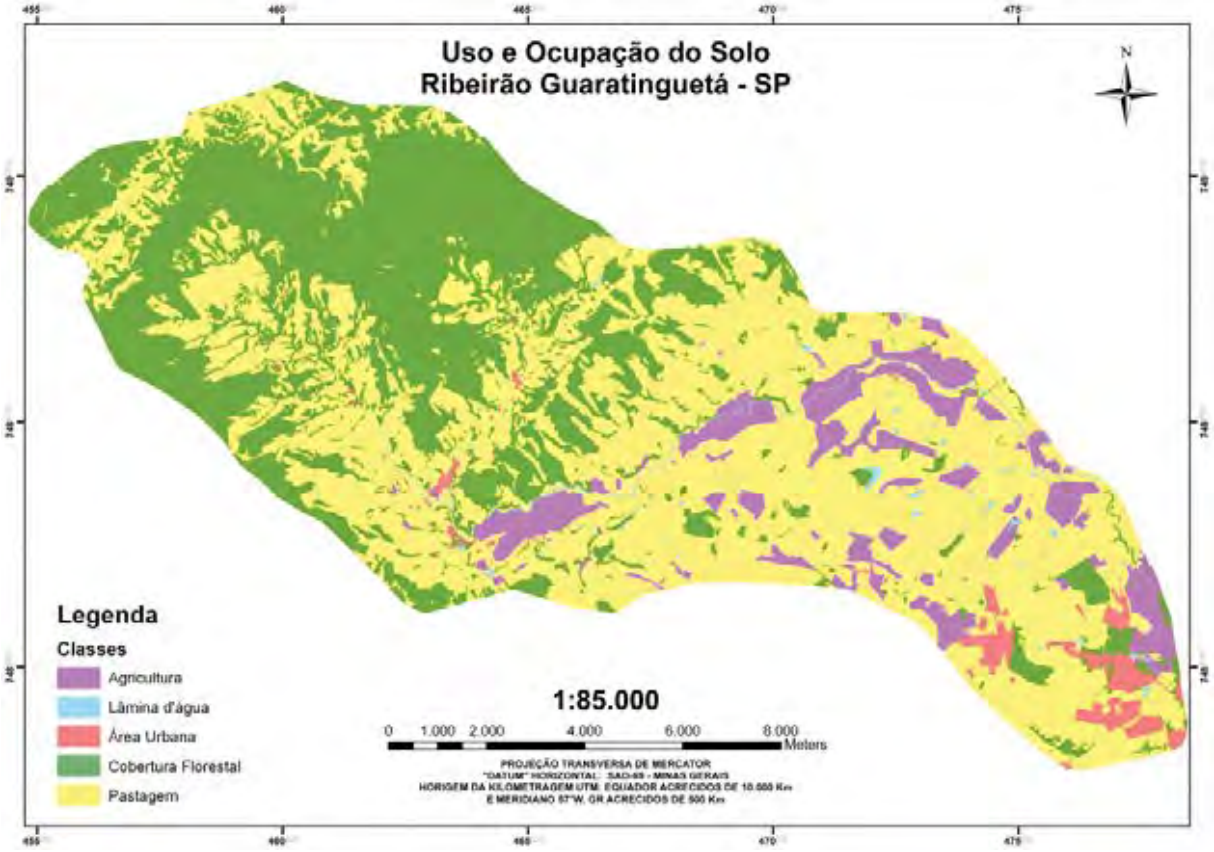

Figura 5 – Mapa de Uso e Ocupação do solo da bacia do ribeirão Guaratinguetá (TNC, 2006).

Os dados apresentados na Tabela 1 evidenciam que entre os usos e ocupação do solo, a pastagem é a que ocupa maior parte da bacia, 54%, seguida pela cobertura florestal que corresponde a, aproximadamente, 36%, enquanto a área de uso agrícola ocupa apenas 7,5% da área total da bacia. O domínio da agropecuária interior paulista é um reflexo da predominância de solos de baixa fertilidade, conforme os estudos de Barros (1988) e Campos (1998). Apesar da menor porcentagem de uso e ocupação do solo pelas atividades agrícolas, estas podem alterar sensivelmente os processos biológicos, físicos e químicos dos sistemas naturais, como observado por Merten e Minella (2002). Segundo estes autores, estas alterações podem ser avaliadas por meio do monitoramento da qualidade da água, considerando que, as chuvas precipitadas sobre as vertentes formarão o deflúvio superficial que carreará sedimentos e poluentes para a rede de drenagem. Desta forma, o rio é um integralizador dos fenômenos ocorrentes nas vertentes da bacia, que pode ser avaliado pelos parâmetros de qualidade da água. No caso da bacia do ribeirão Guaratinguetá a rizicultura irrigada se destaca entre as monoculturas desenvolvidas nas áreas de várzeas, e tem consequências diretas sobre a qualidade e a quantidade da água disponível considerando que o cultivo de arroz consome um grande volume de água durante todo o ciclo da cultura, em média 1,5 a 2 $L.s^{-1}$, em um período médio de irrigação que varia de 80 a 100 dias. Nos meses de maior demanda por água, a maioria dos agricultores utilizam o escoamento superficial de forma simultânea e não escalonada resultando na impossibilidade do pronto atendimento das vazões solicitadas para todos os usuários, o que gera sérios conflitos pelo uso da água nesta bacia (SAEG, 2005).

Tabela 1 – Uso e ocupação do solo e as respectivas áreas que ocupam na bacia do ribeirão Guaratinguetá (TNC, 2006).

Uso e Ocupação do solo	**Descrição**	**Área (km^2)**	**Porcentagem da área total**
Agricultura	Área de uso agrícola	11,92	7,5
Área Urbana	Área residencial e/ou urbana	3,29	2,1
Cobertura Florestal	Toda área coberta com vegetação arbórea densa e/ou continua	56,72	35,8
Lâmina d'água	Cursos hídricos: rios, lagos e nascentes	0,96	0,6
Pastagem	Áreas com pastagens (plantadas e naturais) e solo exposto (estradas)	85,67	54,0
Área total		**158,56**	**100,0**

O mapa de uso e ocupação do solo em APPs, apresentado na Figura 6, também evidencia a intensa ação antrópica na bacia para fins agropecuários.

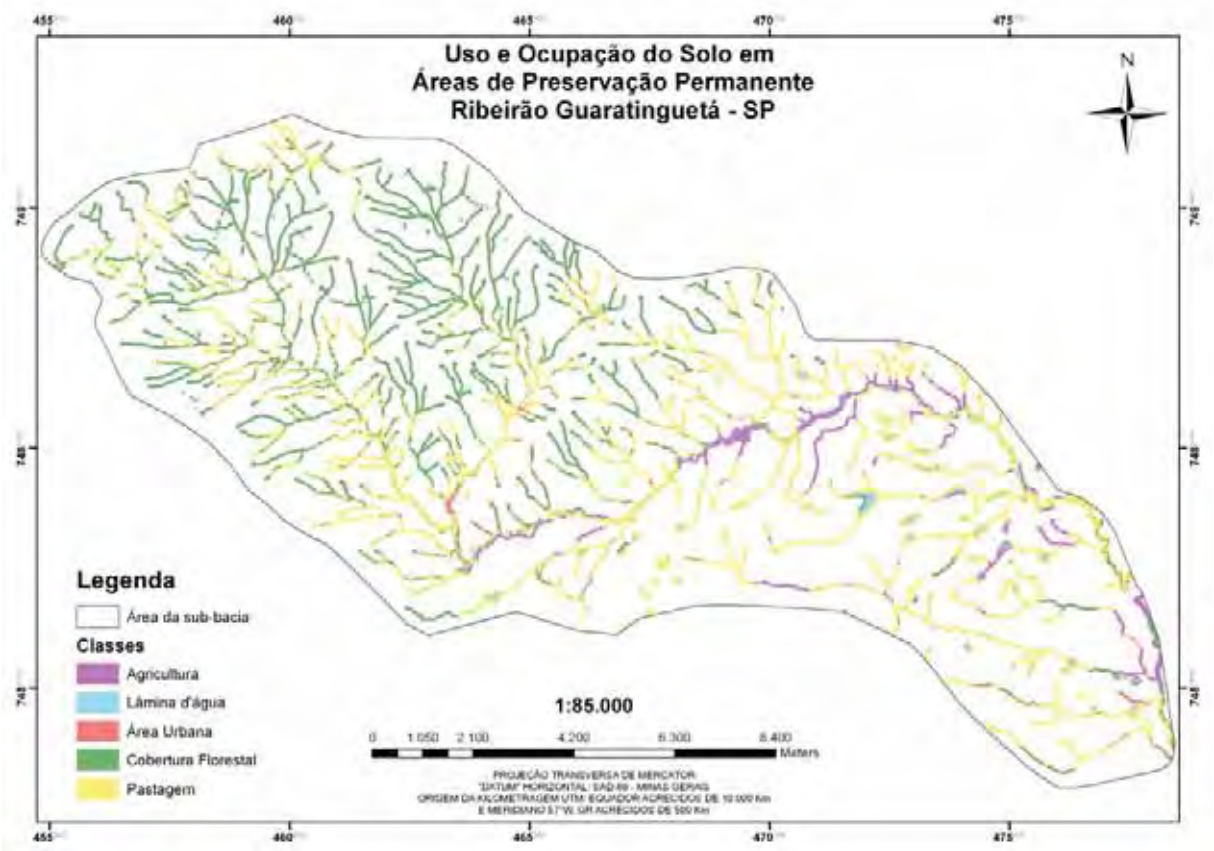

Figura 6 – Uso e ocupação do solo em Áreas de Preservação Permanente da bacia do ribeirão Guaratinguetá.

De acordo com este mapa de uso e ocupação do solo e os dados apresentados na Tabela 2, as APPs cobrem uma área de 28,45 km², o que corresponde a 17,9% da área total da bacia, sendo 17,7% de APPs hídricas e 0,2% de APPs de declividade. Os resultados mostram que 56,1% de toda a área delimitada como APP está sendo explorada de forma indevida, principalmente por pastagens e atividades agrícolas, que não atendem ao que estabelece a legislação vigente. Magalhães et al. (2009), avaliaram uma pequena parcela (13 km^2) do Rio Paraíba do Sul, em sua porção carioca e verificaram que aproximadamente 60% das APPs hídricas estavam sendo ocupadas por pastagens e residências, em desacordo ao que estabelece o Código Florestal Brasileiro. Andrade et al. (2009), em seus estudos em uma bacia hidrográfica rural, encontraram resultados de uso e ocupação do solo nas APPs da bacia do São Bartolomeu ainda mais preocupantes, considerando que 84,2% das APPs estavam sendo ocupadas de forma indevida, por atividades agrícolas, pastagens, solo exposto, áreas residenciais, entre outros usos. Conforme o Código Florestal estas áreas, cobertas ou não por

vegetação nativa, deveriam estar protegidas nos termos dos artigos 2º e 3º, assegurando, não só a qualidade da água e do solo, mas também a qualidade de vida da população.

Tabela 2 – Uso e ocupação do solo nas APPs da bacia do ribeirão Guaratinguetá.

Uso e ocupação do solo	**APPs hídricas**		**APPs de declividade**		**Uso indevido das APPs**	
	km²	**(%)**	**km²**	**(%)**	**km²**	**(%)**
Agricultura	1,96	7,0	-	-	1,96	12,3
Área Urbana	0,29	1,0	-	-	0,29	1,8
Cobertura Florestal	11,17	39,8	0,35	91,7	-	-
Lâmina d'água	0,96	3,4	-	-	-	-
Pastagem	13,69	48,8	0,03	8,3	13,72	85,9
Total de APPs	28,07	100,0	0,38	100,0	15,97	100,0

Verificou-se também que as APPs relacionadas às 301 nascentes (contabilizadas a partir do mapa de drenagem na escala 1:100.000) da bacia do ribeirão Guaratinguetá, que correspondem a uma área de 2,35 km² de APP, são ocupadas em 0,2% por lâmina d'água, 0,7% por área urbana, 2% com uso agrícola, 47,3% com pastagem e 49,8% com cobertura florestal. O fato de 50% das APPs relacionadas às nascentes serem ocupadas de forma indevida, sendo que destes, 47,3% são ocupados por pastagens, torna ainda mais problemática a situação da bacia. Isso porque a destruição dos fragmentos florestais, que constituem as APPs em áreas de nascentes, para a formação de pastos interfere diretamente no ciclo hidrológico, alterando o processo de infiltração de água nos solos e, consequentemente, contribuindo para a falta de água na bacia do ribeirão.

As APPs da bacia do ribeirão Guaratinguetá foram ocupadas por atividades agropecuárias, em descumprimento ao Código Florestal. Atualmente existem muitas discussões, algumas foram abordadas por Metzger (2010), sobre o embasamento científico que permitiu definir os parâmetros e os critérios da Lei 4.771/65, principalmente no que diz respeito à largura das áreas de influência ripária. Este autor revisou diversos estudos realizados em diferentes ecossistemas brasileiros, procurando analisar os avanços científicos dos últimos 45 anos que permitem ou não sustentar o Código Florestal de 1965 e suas modificações ocorridas posteriormente. Em suas conclusões deixou claro que, o conhecimento científico obtido nestes últimos anos permite não apenas sustentar os valores indicados no Código Florestal de 1965, em relação à extensão das APPs, mas na realidade indica a necessidade de expansão destes valores para limiares mínimos de 100 m (50 m de

cada lado do rio), independentemente do bioma, do grupo taxonômico, do solo ou do tipo de topografia e que corredores de apenas 30 m têm capacidade muito limitada de manutenção da biodiversidade.

3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- As ferramentas do Sistema de Informações Geográficas foram eficientes para delimitar espacialmente as APPs e para quantificar as classes de uso e ocupação do solo que ocorrem nas APPs da bacia do ribeirão Guaratinguetá.

- A bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá apresenta classes de uso do solo bem distribuídas, sendo maiores as áreas ocupadas com pastagem (54%) do que as ocupadas com florestas (36%).

- De todas as áreas delimitadas como APPs, 56,1% estão sendo explorados de forma indevida, principalmente por pastagens e atividades agrícolas, que não atendem ao que estabelece a legislação vigente e precisam de medidas corretivas urgentes, para que estes processos de degradação não atinjam consequências futuras em grande escala sobre os recursos naturais de toda a bacia e da comunidade que dependem deles.

- O embasamento técnico-científico gerado neste estudo poderá contribuir para a dinâmica regional de estudos dos recursos naturais, com a tomada de decisões relativas ao uso e ocupação do solo das APPs, e subsidiar projetos de planejamento que visem ações de revitalização desta bacia.

3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. M.; POELKING, E. L.; FILHO, E. I. F. *Uso e Ocupação das Áreas de Preservação Permanente na Bacia do São Bartolomeu, Viçosa (MG).* In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa – MG.

BARROS, Z.X. de *Caracterização de bacias hidrográficas no mapeamento de solos mediante o uso de análise multivariada.* Botucatu: UNESP, 1988, 113p. Tese (Doutorado).

BRASIL. "Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965". 1965. *Institui o Novo Código Florestal.* Brasília, DF: Senado Federal, 1965. 5p.

BRASIL. "Lei Federal nº 7.803, de 18 de julho de 1989". 1989. *Altera a redação da Lei nº 4771, de 15 de setembro de 1965 e revoga as Leis nº 6535, de 15 de junho de 1978, e 7511, de 7 de julho de 1986.* Brasília, DF: Senado Federal, 1989.

BRASIL. "Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002". 2002. *Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.* Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF.

CAMPOS, S. *Diagnóstico físico conservacionista da bacia do rio Lavapés – Botucatu (SP).* Botucatu: UNESP, 1997. 140p. Tese (Livre-Docência).

COMITÊ PARA INTEGRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL – CEIVAP. *Projeto qualidade das águas e controle da poluição hídrica – PQA.* ANEEL/SMASP/BIRD/PNUD (CD-ROM). 2000.

COMPANHIA DE SERVIÇOS DE ÁGUA, ESGOTO E RESÍDUOS DE GUARATINGUETÁ – SAEG. *"Projeto de monitoramento da qualidade de água do ribeirão Guaratinguetá – Fase I, Diagnóstico da utilização de agroquímicos em agricultura irrigada, cadastro de usuários de água e levantamento da ocupação e uso do solo"* – Relatório Final. Geoambiente, 2005. 97p.

COSTA, T. C. E C. DA.; SOUZA, M. G. DE.; BRITES, R. S. *Delimitação e caracterização de áreas de preservação permanente, por meio de um sistema de informações geográficas (SIG).* In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1996, Salvador. p.121-127, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Banco de dados do IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1> Acesso em: 21.ago. 2010.

MAGALHÃES, S. F. C. DE; SALAMENE, S.; MOURA, T. A.; ELIAS, V. C.; FRANCELINO, M. R. *Uso da terra na Área de Preservação Permanente do rio Paraíba do Sul no trecho entre Pinheiral e Barra do Piraí, RJ.* In: Anais II Seminário de Rec. Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, Taubaté, Brasil, 09-11 dezembro 2009, IPABHi, p. 379-384.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. *Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para sobrevivência futura.* Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, Porto Alegre, v.3, n.4, p. 33 – 38. 2002.

METZGER, J.P. O Código Florestal Tem Base Científica? Painel Florestal. Disponível em: <http://painelflorestal.com.br/artigos/8244/o-codigo-florestal-tem-base-cientifica>. Acesso em: 20.ago.2010

PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F. F. M. DE; PRANDINI, F. L. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.* São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1981. 94 p. (Publicação no. 1183).

ROCHA, C. H. B. *Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar.* Juiz de Fora, MG: Ed. do Autor, 2000. 220p.

SOARES, P. V. *As interrelações de elementos do meio físico natural e modificado na definição de áreas potenciais de infiltração na porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul.* (Tese de Doutorado). 2005. 192p.

THE NATURE CONSERVANCY – TNC. *"Relatório Técnico: Interpretação de Uso e Ocupação do Solo da Bacia de Guaratinguetá".* 2006.

CAPÍTULO 4

CAPACIDADE DE USO DAS TERRAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO GUARATINGUETÁ, SP

RESUMO

FERREIRA, Mariana Cassiano. **Capacidade de uso do solo da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, SP. In: _____ Proposta para o uso e manejo sustentável da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, SP.** Bauru: UNESP, 2011. Cap. 4, p. 58 – 83. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental).

A avaliação da capacidade de uso das terras é uma ferramenta para o planejamento agroambiental e para a gestão sustentável de bacias hidrográficas. Este estudo teve como objetivo avaliar as classes de capacidade de uso das terras da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (SP), por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG), visando ao planejamento adequado de seu uso e ocupação. Esta bacia situa-se entre as coordenadas 22º40’50,334” a 22º48'25,195" de latitude Sul e 45º11'30,046" a 45º26'20,226" de longitude Oeste, sendo a área abordada neste estudo, de 146,14 km^2. O mapeamento das classes de capacidade de uso das terras foi elaborado a partir dos mapas de classes de declive e de solo, tomando-se, por base, as características de cada solo e utilizando-se a tabela de julgamento de classes de capacidade de uso. As classes de declive de 0-25% ocorrem em mais de 69,2% da bacia, sendo as áreas planas, de 0 a 3% as mais representativas (38,6%). O SIG mostrou-se uma excelente ferramenta para a determinação da capacidade de uso da terra, pois a utilização do geoprocessamento facilita e agiliza o cruzamento de dados digitais, permitindo seu armazenamento para futuros planejamentos ambientais. Verificou-se que 38,8% da área da bacia (56,68 km^2) pertence ao Grupo A; 24,8 % (35,9 km^2) ao Grupo B e 36,7% (53,57 km^2) ao Grupo C. Estes resultados mostram que cerca de 63,34% da área da bacia (92,57km²) apresenta capacidade de uso para as atividades agropecuárias, mas também existem áreas que precisam ser preservadas para manter a qualidade ambiental e a sustentabilidade da bacia.

ABSTRACT

FERREIRA, Mariana Cassiano. **Land use capability of Guaratingueta watershed in São Paulo State. In: _____ Proposal for the sustainable use and management of Guaratinguetá stream basin in São Paulo State.** Bauru: UNESP, 2011. Cap. 4, p. 58 – 83. (Dissertation – Master in Civil and Environmental Engineering).

Capacity assessment of land use is a tool for planning and agri-environmental for the sustainable management of watersheds. This research aimed to study land use capability classes in Guaratingueta watershed, in the Paraiba do Sul basin, São Paulo State, Brazil, by using the Geographic Information System (GIS), in order to find out the appropriate planning system for soil use. The watershed covers an area of 164 km^2 and is located among the coordinates 22º40’50,334”S and 22º48'25,195"S and 45º11'30,046"W and 45º26'20,226"W. The land use capability map was made from the slope and soil maps, based on the features of each kind of soil and the land use capability table for class assessment. Slope classes from 0% to 25% were present in more than 69.2% of Guaratingueta watershed, being the plane areas the most representative ones (38.6%). GIS showed to be an excellent tool for determining land use capability, because the geoprocessing use facilitates and activates the digital data crossing, allowing its storage for future environmental planning. It was found that 40.9% of the basin area (66.86 km^2) belongs to Group A, 26.3% (42.96 km^2) in Group B and 32.8% (53.6 km^2) than Group C. These results show that most of the basin area has the capacity to use for agricultural activities, but there are also areas that need to be preserved to maintain environmental quality and sustainability of the watershed.

4.1. INTRODUÇÃO

As intervenções antrópicas causam alterações profundas nos ecossistemas naturais, com desequilíbrios em escalas variáveis. De acordo com Sanabria et. al. (1996), é de fundamental importância os esforços para o planejamento territorial baseado em estudos do meio físico e de sua dinâmica evolutiva. Estes estudos devem ocupar um lugar de destaque nos programas de planejamento integral de desenvolvimento a fim de reduzir ou evitar perdas sócio-econômicas e fazer disso um processo sustentável ao longo do tempo.

A aplicabilidade do planejamento do uso das terras abrange vários níveis, desde o da propriedade rural até o nacional. Nos âmbitos mais gerais como o nacional ou regional, o planejamento permite identificar alternativas de desenvolvimento, em função das necessidades e condições sócio-econômicas, enquanto em áreas específicas, como em microbacias hidrográficas e propriedades rurais, fornece subsídios para adequar as terras às várias modalidades de utilização agrosilvopastoril (WEILL, 1990; LEPSCH et al., 1991).

A avaliação da capacidade de uso das terras é uma ferramenta que permite o planejamento da utilização dos recursos naturais. Segundo FAO (1976), citada por Weill (1990) a avaliação das terras é: “o processo de estimar o desempenho da terra, quando usada para propósitos específicos, envolvendo a execução e interpretação de levantamentos e estudos das formas de relevo, solos, vegetação, clima e outros aspectos da terra, de modo a identificar e proceder à comparação dos tipos de usos da terra mais promissores, em termos da aplicabilidade aos objetivos da avaliação”.

O termo terra tem sido empregado em vários trabalhos, por ser um conceito mais amplo do que solo, considerando que terra compreende todas as condições do meio físico, do qual o solo é apenas uma parte (YOUNG, 1976; WEILL, 1990 citados por FERNADES et al., 2010).

No Brasil, de acordo com Weill (1990) e Marques (2000), o sistema de capacidade de uso é um sistema de avaliação de terras adaptado da USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, publicado em 4ª aproximação por Lespsch et al. (1991). Com base nessa metodologia, autores têm publicado trabalhos buscando auxiliar na tomada de decisão e na conservação dos recursos naturais, respeitando sua capacidade de uso (TORRES et al., 2007; BRANDÃO ROCHA; ROSA, 2008).

Em bacias hidrográficas rurais é essencial ter conhecimento das classes de capacidade de uso das terras, o que permite o planejamento agroambiental da área, por atuar como uma ferramenta para a adequação, a correção e o controle de problemas ambientais. Nas últimas

décadas foram difundidas práticas que garantem a conservação do solo, devido ao desenvolvimento de uma nova visão da agricultura, que tem como objetivo a manutenção da qualidade física, química e biológica do solo e também a adoção de manejos preventivos e emergenciais, abrangendo o controle de erosão, técnicas inovadoras de mecanização agrícola e uso correto de fertilizantes e corretivos (CAMPOS et al., 2010).

Como suporte à utilização dessas abordagens, as técnicas de sensoriamento remoto integradas à tecnologia de sistemas de informações geográficas, são ferramentas de grande utilidade para a realização de pesquisas aplicadas ao estudo de capacidade de uso das terras (SAIZ; FILHO, 1996).

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo a delimitação das classes de capacidade de uso das terras da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, no Vale do Paraíba, Estado de São Paulo, visando a adequação do uso e ocupação das terras e o planejamento agroambiental desta bacia.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1. Delimitação da área da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá

A delimitação da área da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, foi elaborada pelo software ArcGIS®, versão 9.2 (Figura 1). Nesta nova delimitação, a área calculada foi de 146,14 km^2 com um perímetro 67,98 km. Desta forma, a área da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, considerada neste capítulo, difere da utilizada nos capítulos anteriores, de 164 km^2, conforme levantamentos de Soares (2005). A partir desta nova delimitação da área da bacia e utilizando as técnicas de geoprocessamento foram elaborados todos os mapas temáticos para a determinação das classes de capacidade de uso das terras e para a adequação do uso da terra da bacia do ribeirão Guaratinguetá.

Figura 1 – Delimitação da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá.

4.2.2. Caracterização do meio físico da bacia do ribeirão Guaratinguetá

Classes de solo e pontos de amostragem

O mapa de classes de solo, elaborado por Soares (2005) foi modificado, devido à necessidade de inclusão da unidade pedológica referente aos solos aluviais (Neossolo Flúvico – RU), por ter sido verificado em levantamentos de campo que ao longo do ribeirão ocorre esta classe de solo anteriormente descrita e mapeada como sendo Latossolo.

A delimitação da área ocupada por Neossolo Flúvico foi realizada empregando-se o software ArcGIS® versão 9.2 do SIG, por meio do qual foi digitalizado um novo polígono através da analise dos mapas topográfico e de declividade. A Tabela 1 lista as diferentes classes de solo e as respectivas áreas que ocupam na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá.

Tabela 1 – Classes de solo e respectivas áreas que ocupam na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (modificado de Soares, 2005).

Classes de solo	**Simbologia**	**Área (km²)**	**Área %**
Cambissolos Háplicos	CX	42,24	28,9
Cambissolos Húmicos	CH	16,02	11,0
Gleissolos Melânicos	GM	4,88	3,3
Latossolos Amarelos	LA	39,19	26,8
Latossolos Vermelho-Amarelos	LVA	30,56	20,9
Neossolos Flúvicos	RU	13,26	9,1
Área total		**146,14**	**100,0**

Como apresenta a Tabela 1, foram identificadas quatro classes gerais de solos na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá: Latossolos, Cambissolos, Gleissolos e Neossolos (Figura 2). Nesta figura também estão identificados os pontos de amostragem dos solos na profundidade de 0-50 cm utilizadas nas análises químicas e físicas, necessárias à identificação das limitações referentes a cada classe de capacidade uso das terras. Estas análises foram realizadas no laboratório de análises de solo e plantas do departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté, seguindo as metodologias do IAC (1997). Para a determinação do pH foi utilizada a solução de $CaCl_2$; a extração de matéria orgânica (M.O.) foi feita em ácido sulfúrico; a determinação dos teores de P, K, Ca e Mg pelo método da resina; a acidez potencial (H+Al) por SMP e os micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) por solução DTPA.

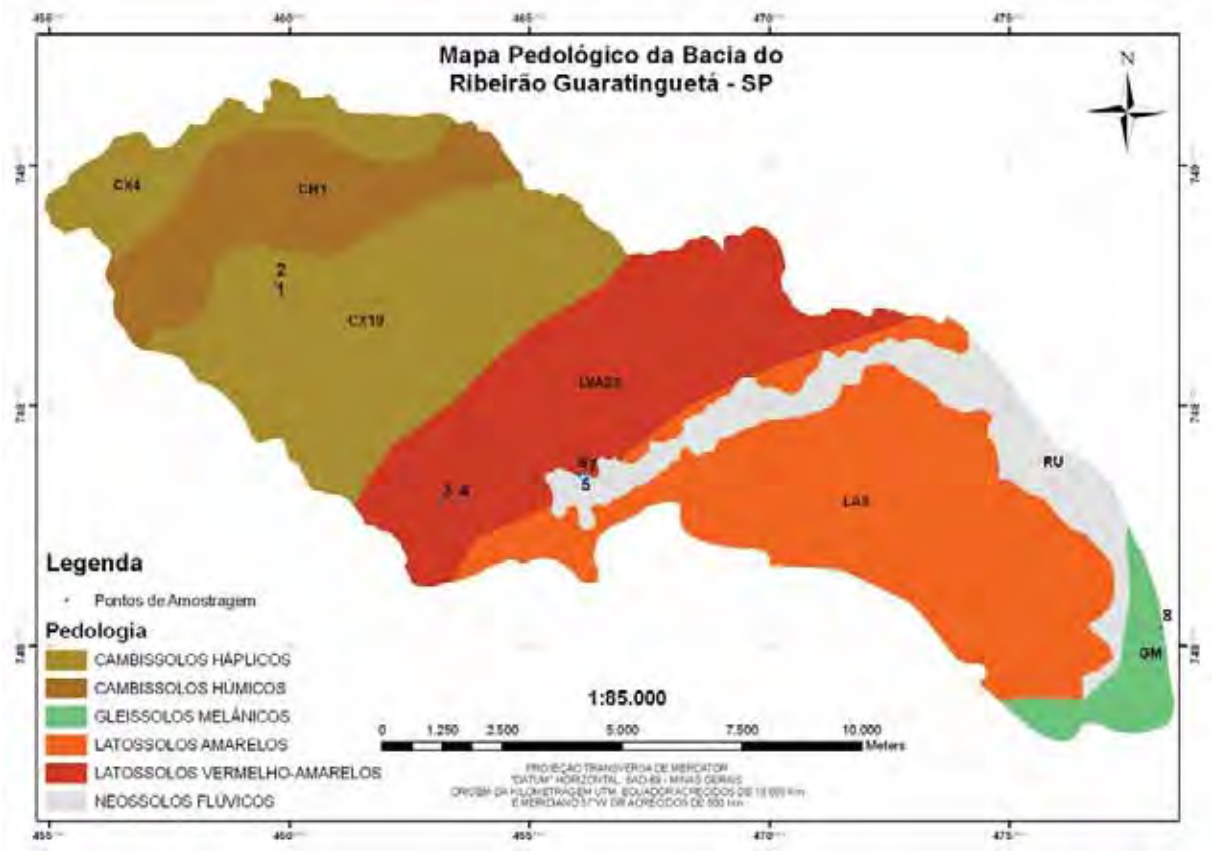

Figura 2 – Mapa pedológico da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (SP).

Os Latossolos são, em geral, solos com boas propriedades físicas e situados, na maioria dos casos, em relevos planos e levemente ondulados, favorável ao uso intensivo de máquinas agrícolas. Possuem horizontes diagnósticos do tipo B latossólico e tendem a apresentar elevada porosidade e friabilidade, o que facilidade seu manejo agrícola. Sua principal limitação é a baixa disponibilidade de nutrientes nos solos distróficos e a toxicidade por alumínio trocável. Porém, o relevo favorecendo a mecanização, torna tais deficiências de fácil correção quando aplicada a tecnologia adequada.

Os Cambissolos são solos que apresentam grande variação no tocante a profundidades, ocorrendo desde rasos a profundos, apresentam um horizonte B diagnóstico com menos de 50 cm denominado B incipiente (Bi) apresentam cores diversas e muitas vezes são pedregosos, cascalhentos e mesmo rochosos. Os Cambissolos estão relacionados aos relevos mais íngremes, ocorrendo na bacia os Cambissolos háplicos e os Cambissolos húmicos.

Os Neossolos são solos constituídos por material mineral ou material orgânico pouco espesso (menos de 30 cm de espessura), sem apresentar qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. No caso da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá identificou-se a presença do Neossolo Flúvico, que apresenta natureza muito variada, dependendo fortemente das

características dos sedimentos aluviais que o formou, podendo apresentar textura arenosa a argilosa; ser distróficos ou eutróficos, e apresentar ou não salinidade ou sodicidade. A única característica comum desses solos é sua drenagem imperfeita. Dessa maneira, parte desses solos pode apresentar boa aptidão à agricultura e outra parte pode ser inapta.

Os Gleissolos são solos mal drenados e apresentam sérias limitações impostas pela presença do lençol freático a pouca profundidade. Além disso, são solos normalmente ácidos e que requerem a aplicação de corretivos para uso agrícola. Na bacia são encontrados os Gleissolos Melânicos, relacionados às planícies aluvionares dos principais cursos de água.

De acordo com a Tabela 1, quantitativamente os Latossolos ocupam 47,7% da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, que quando associados às áreas mais planas tornam-se propícios à utilização das terras na maior parte das áreas da bacia hidrográfica, demandando, no entanto de aplicação de tecnologias de produção para obtenção de melhores produtividades. Os Latossolos apresentam textura arenosa na parte superficial em razão da intensa erosão laminar que carrega as partes mais finas (argila) e concentra as mais grosseiras (areia grossa). Geralmente são muito porosos, pouco coesos, de alta friabilidade e permeabilidade. Quanto à drenagem são acentuadamente a moderadamente drenados. Em razão do pisoteio do gado excessivo há em alguns pontos da bacia, o selamento, que facilita a erosão laminar. Devido ao estágio avançado de evolução destes solos, bem como a intensa lixiviação, é pequena a reserva de nutrientes sendo, portanto, solos de baixa fertilidade natural e altamente dependentes de fertilização. Predominam na área o uso com pastagem de braquiária, milho, entre outras e o plantio está ocorrendo sem nenhuma proteção do solo o que tem ocasionado uma erosão laminar severa.

Os Cambissolos ocupam 58,3 km^2, que correspondem a 39,9% da área total da bacia, sendo comum sua ocorrência em relevo acidentado. Os Cambissolos Háplicos e Húmicos ocorrem nas áreas de grandes altitudes, de relevo escarpado, montanhoso e forte ondulado da serra da Mantiqueira. Na sua maioria são distróficos, rasos e associados aos afloramentos rochosos, com predisposição a escorregamentos e processos erosivos intensos. Grande parte destes solos está coberta por vegetação de floresta, mas existem áreas ocupadas com pastagens sem qualquer prática de proteção do solo o que provoca a intensificação dos processos erosivos.

Os Neossolos Flúvicos, ocupam 13,26 km^2, o que corresponde a 9,1% da área total da bacia, ocupando as áreas planas e baixas próximas ao ribeirão e, apesar de suas melhores condições ao uso agrícola que os Gleissolos, também apresentam restrições físicas, sendo

solos rasos, de má drenagem, com alta pedregosidade, bem como restrições químicas devido à baixa fertilidade e elevada acidez.

Os Gleissolos ocupam apenas 4,88 km^2, cerca de 3,3% da área da bacia ocorrendo nas planícies aluvionares e áreas próximas ao exutório da bacia, onde permanecem encharcados durante a maior parte do ano, apresentando problemas relacionados à deficiência de drenagem, elevada acidez, toxicidade por alumínio e, em grande parte, presença de pedregosidade.

Classes de Declividade

A bacia do ribeirão Guaratinguetá é composta por áreas baixas e planas, nas margens dos rios, que são periodicamente sujeitas às inundações, bem como interflúvios extensos e aplainados, vales abertos e vertentes ravinadas com perfis convexos e retilíneos, considerando que a região também é formada por rampas e aclives de terrenos (escarpas) da Serra da Mantiqueira (Figura 3). Os pontos mais altos da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá localizam-se na Serra da Mantiqueira e possuem altitudes superiores a 2.000 metros. Com base em Ponçano et al. (1981), reconhecem-se na bacia do Guaratinguetá as seguintes unidades geomorfológicas: planícies aluviais, colinas pequenas com espigões locais, morrotes baixos, morros paralelos, morros com serras restritas, escarpas festonadas.

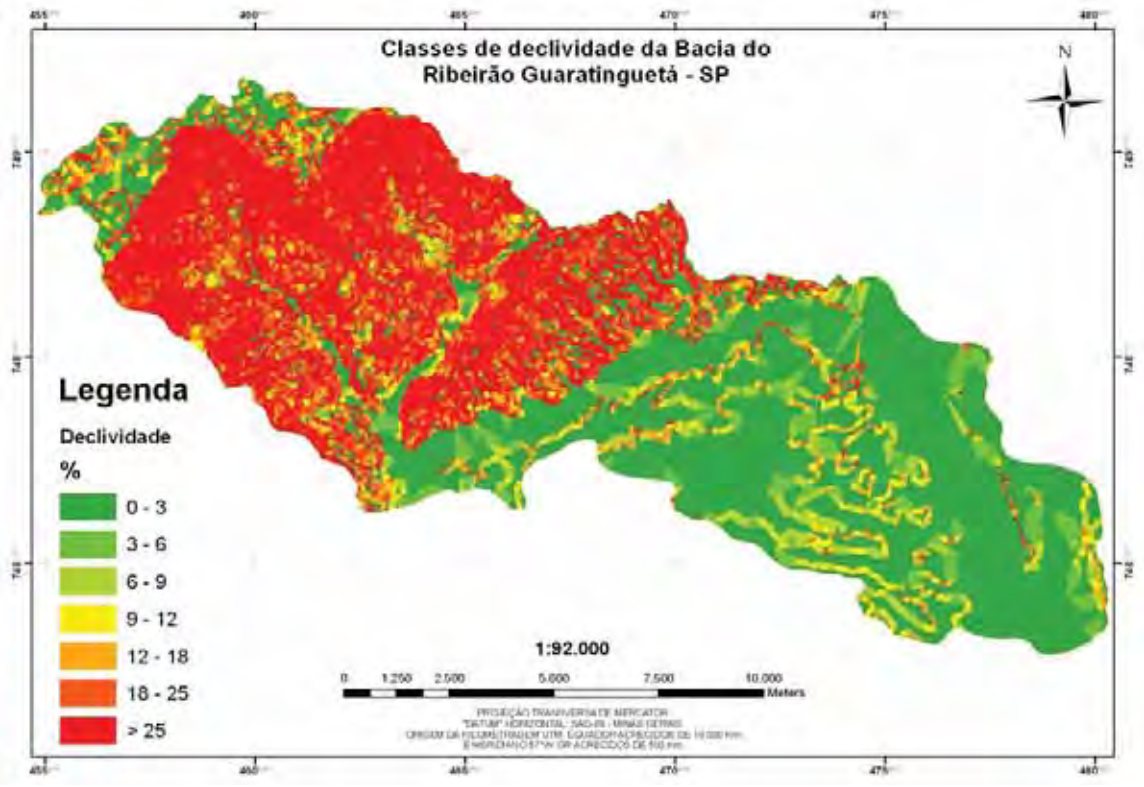

Figura 3 – Mapa de classes de declividade da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (SP).

A partir das curvas de nível obtidas por Soares (2005) foi possível gerar o mapa de declividade, no qual foram estabelecidas as classes de declividade adotadas neste estudo (Tabela 2). Empregando-se o software ArcGIS®, versão 9.2 do SIG, foi gerado um modelo *TIN* (*Triangulated Irregular Network*) e, deste modelo, utilizando a extensão *Spatial Analyst* foi aplicada a ferramenta *Slope* que possibilitou o estabelecimento das classes de declividade. As classes de declividade adotadas no presente estudo têm limites diferentes dos estabelecidos por Lepsch et al. (1991), que considera sete classes de declive, sendo a última de declive superior a 70%. Assim como no estudo realizado por Giboshi (1999), no presente estudo, adotou-se como critério que, áreas com declividade acima de 25% não devem ser usadas para atividades agropecuárias. Na tabela 2 estão apresentadas.

Tabela 2 – Classes de declividade adotadas para o estudo da capacidade de uso das terras da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, conforme Giboshi (1999).

Classes de Declividade	Declividade (%)
A	0 - 3
B	3 - 6
C	6 - 9
D	9 - 12
E	12 - 18
F	18 - 25
G	> 25

Condições climáticas

As diferenças de altitude, de 527 metros, nas regiões intermontanas e acima de 2.000 metros, na área da nascente do ribeirão do Sino, na Serra da Mantiqueira, condicionam uma variação climática significativa na bacia do ribeirão Guaratinguetá, com temperaturas mais elevadas na porção mais à sudeste, e temperaturas mais baixas na região da Serra da Mantiqueira, devido às elevadas altitudes. Segundo a classificação de Köppen, o município de Guaratinguetá pertence à classe climática Cwa, que corresponde ao clima mesotérmico, com inverno seco e verão chuvoso, e temperatura média superior a 22°C, no mês mais quente. A temperatura média das máximas registradas é de 35°C e a temperatura média das mínimas registradas é de 3,9°C. A precipitação média anual neste trecho da bacia do Paraíba do Sul é da ordem de 1.400mm, ocorrendo, porém, uma grande variabilidade anual, alcançando valores entre 1.300 e 2.000 $mm.ano^{-1}$ (SIMÕES E BARROS, 2007) e uma grande variabilidade espacial (SILVA, 1999; SILVA; SIMÕES, no prelo). Diante de sua importância regional, a Bacia do Rio Paraíba do Sul, em seu setor paulista, dispõe de uma base de dados pluviométrica significativa e disponibilizada pelo Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo (SIGRH). No caso da bacia do ribeirão Guaratinguetá, estão disponíveis registros mensais e diários de duas estações pluviométricas com séries históricas relativamente atualizadas e com séries históricas temporais em torno de 50 anos. A bacia não dispõe de estações pluviográficas, assim como inexistem postos fluviométricos em seu interior. De acordo com o relatório do SAEG (2005) a precipitação anual total na Bacia do ribeirão Guaratinguetá é de, aproximadamente, 1.262mm. O déficit e o excedente hídrico são de, aproximadamente, 78,8 mm e 326,6 mm, respectivamente.

Uso e Ocupação do solo

Conforme apresentado no capítulo 3, entre os usos e ocupação do solo, a pastagem é a que ocupa maior parte da bacia, com 54%, seguida pela cobertura florestal que corresponde a,

aproximadamente, 35%, enquanto a área de uso agrícola ocupa apenas 8% da área total da bacia (Tabela 3).

Tabela 3 – Uso e ocupação do solo e as respectivas áreas que ocupam na bacia do ribeirão Guaratinguetá (adaptado de TNC, 2006).

Uso e Ocupação do solo	Descrição	Área (km^2)	Porcentagem da área total
Agricultura	Área de uso agrícola	11,63	8,0
Área Urbana	Área residencial e/ou urbana	3,26	2,2
Cobertura Florestal	Toda área coberta com vegetação arbórea densa e/ou continua	51,49	35,2
Lâmina d'água	Cursos hídricos: rios, lagos e nascentes	0,93	0,6
Pastagem	Áreas com pastagens (plantadas e naturais) e solo exposto (estradas)	78,83	54,0
Área total		**146,14**	**100,0**

4.2.3. Caracterização socioeconômica da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá

Para o conhecimento da dinâmica populacional e das principais atividades econômicas desenvolvidas na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, realizou-se uma caracterização socioeconômica da área estudada, respeitando os critérios estabelecidos na metodologia para coleta de dados e cadastro realizados pela CATI (2008) para o levantamento das unidades de produção agropecuária (LUPA).

A análise do cadastro de usuários sugere que algumas áreas do alto curso estão sendo utilizadas para atividades turísticas (pousadas, chácaras) e que esse uso deve ser monitorado, uma vez que há evidências de que as instalações não contam com infra-estrutura para o tratamento de efluentes domésticos. Essas atividades podem ser bem impactantes do que as agropecuárias, que nestas áreas são relativamente reduzidas.

Em seu médio curso a bacia é ocupada predominantemente por pastagens, utilizadas pela pecuária extensiva. Pela análise do cadastro de usuários, essa é uma região em que a demanda por recursos hídricos tem crescido pela intensificação de uso do tipo urbano, traduzido pelo crescimento de vilas e do número de chácaras para atividades de recreação. O médio curso da bacia é uma região altamente afetada pelas atividades agropecuárias, desenvolvidas sem a preocupação com práticas de conservação dos recursos naturais e pela ocupação humana, que até o momento não conta com coleta de esgoto e lixo.

Em seu baixo curso, onde se encontram em desenvolvimento alguns núcleos populacionais, como o bairro das Pedrinhas, verifica-se o comprometimento dos recursos hídricos da bacia tanto no tocante à qualidade, uma vez que recebe toda a carga de poluentes (defensivos agrícolas, fertilizantes, corretivos de solo e coliformes fecais) provenientes das regiões à montante, quanto à quantidade, considerando que recebe apenas o excedente do uso apropriado à montante.

Devido à grande diversidade do meio físico da bacia, discutida no capítulo 2, fica evidente que os impactos ao solo e a água, devem ser diferentes no alto, médio e baixo curso. Estes impactos, ao longo do ribeirão Guaratinguetá, podem e devem ser hierarquizados para que ações de melhoria da qualidade da água e do solo sejam implantadas da forma correta e eficiente.

4.2.4. Aplicação do Sistema de capacidade de uso das terras

Para o mapeamento das classes de capacidade de uso das terras, foi empregado o software ArcGIS® 9.2, do Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando os mapas de classes de declive e de solos, considerando as características de cada classe de solo e a tabela de julgamento das classes de capacidade de uso (Anexo 3). Foram realizados cálculos de *overlay* utilizando a ferramenta *intersect* do ArcGIS®, buscando sobrepor as informações dos mapas anteriormente descritos. Esta ferramenta possibilita interagir as camadas do SIG, através da intersecção geográfica, com esse procedimentos são correlacionadas diversas informações e extraidos novos dados. Por meio desta operação foi possível gerar um mapa final contendo todas as APPs no interior da bacia e os diferentes tipos de uso que ocorrem nas mesmas.

A determinação da capacidade de uso das terras teve como base o sistema desenvolvido por Klingebiel e Montgomery (1961) do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, adaptado por Lepsch et al. (1991) para as condições brasileiras. Neste sistema se inserem as características dos solos, a declividade do terreno, os fatores limitantes ao uso da terra e outras características gerais da área de estudo. O sistema é composto por quatro níveis categóricos: grupo, classe, subclasse e unidade de capacidade de uso (Figura 4).

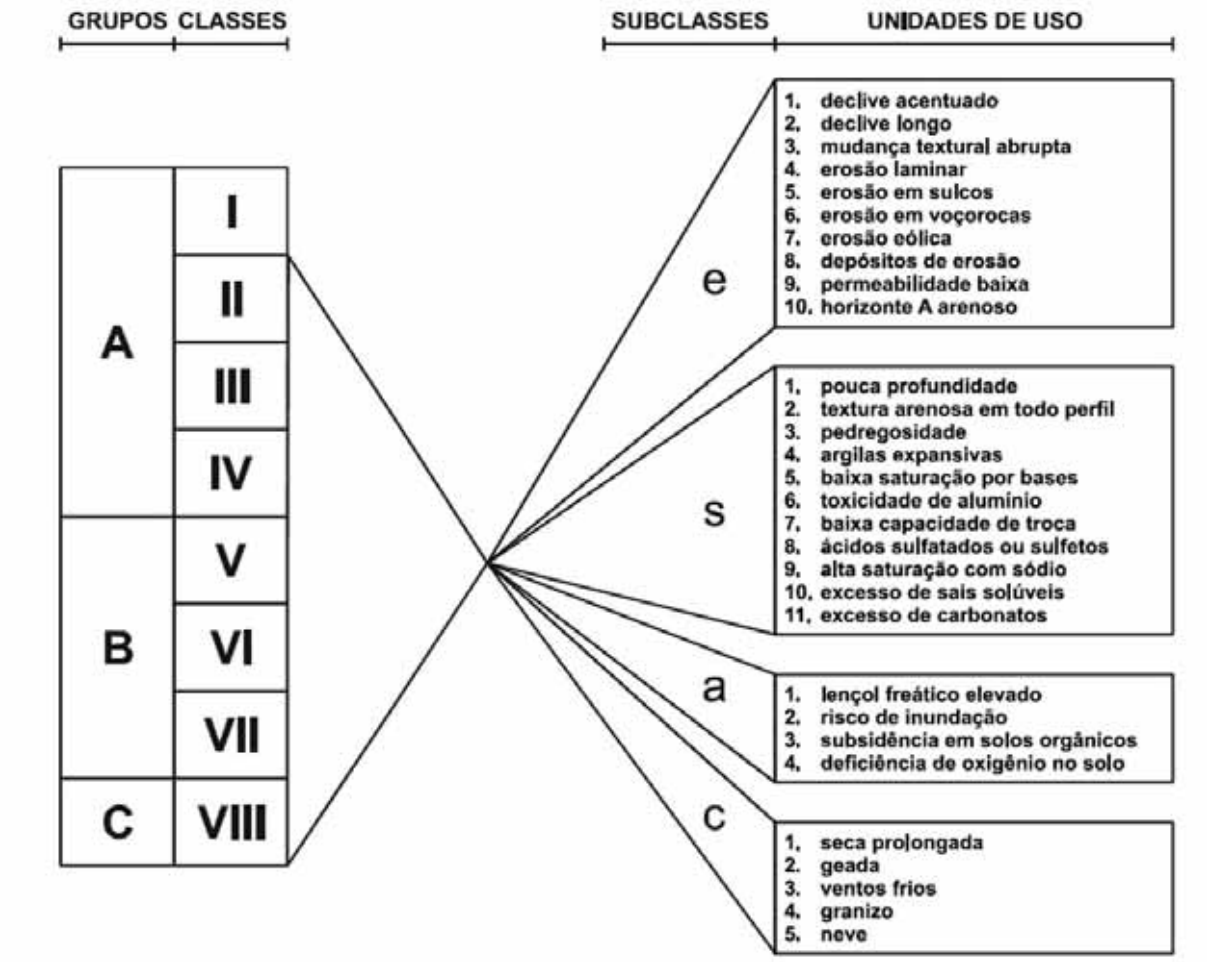

Figura 4 – Distribuição dos níveis categóricos do Sistema de Capacidade de Uso das Terras em: grupos, classes, subclasses e unidades de capacidade de uso (LEPSCH et al., 1991).

O Sistema de Capacidade de Uso das Terras se baseia nas limitações permanentes dos solos e é todo voltado para as possibilidades e limitações à utilização destes. A intensidade de uso representa a maior ou menor mobilização imposta ao solo, expondo-o a certos riscos de erosão e/ou perda da produtividade. Normalmente o uso com culturas anuais impõe alta intensidade de uso, enquanto com vegetação natural os riscos são bem menores. As categorias deste sistema são:

- Grupos de Capacidade de Uso (A, B e C);
- Classes de Capacidade de Uso (I a VIII);
- Subclasses de Capacidade de Uso (IIe, IIIe, IIIa, etc) e;
- Unidade Capacidade de Uso (IIe-1, IIe-2, IIIe-1, etc), baseadas em condições específicas que afetam o uso e o manejo dos solos.

Os três grupos, que constituem o nível mais elevado, mais generalizado e estabelecido com base em uma maior ou menor intensidade de uso dos solos, são caracterizados pelas letras A, B e C constituídos pelas classes de capacidade de uso como descrito a seguir.

a) Grupo A – Terras próprias para lavouras anuais ou perenes e/ou reflorestamento e vida silvestre, que comporta as classes:

Classe I – sem práticas especiais;

Classe II – com práticas simples;

Classe III – com práticas intensivas;

Aqui também devem estar incluídas aquelas terras que são boas para lavouras em condições limitadas ou esporádicas como é o caso da classe a seguir:

Classe IV - com uso limitado e práticas intensivas.

b) Grupo B – Terras impróprias para lavouras, mas ainda apropriadas ao pastoreio e/ou reflorestamento e/ou vida silvestre e compreende as classes:

Classe V – sem restrições especiais ou práticas especiais;

Classe VI – com restrições moderadas; e

Classe VII – com severas restrições de uso.

c) Grupo C – Terras impróprias para a lavoura, pastoreio e silvicultura, porém apropriadas para a proteção da flora, da fauna, recreação ou armazenamento de água e compreende a classe:

Classe VIII – Terras, em geral, de áreas extremamente acidentadas, arenosas, úmidas ou áridas, impróprias para culturas anuais e perenes, apascentamento ou safras florestais, mas que podem ter valor como refúgio da fauna silvestre, recreação, etc.

As subclasses de capacidade de uso estão representadas em função da natureza das limitações, possibilitando assim, que as práticas ou grupo de práticas conservacionistas a serem adotadas sejam mais explícitas.

Convencionalmente as limitações de uso podem ser de diferentes naturezas, a saber:

e: limitações pela erosão presente ou risco de erosão;

s: limitações relativas ao solo (pedregosidade, rochosidade, profundidade efetiva e disponibilidade de água);

a: limitações por excesso de água (risco de inundação, lençol freático elevado, subsidência em solos orgânicos, deficiência de oxigênio no solo);
c: limitações relativas ao clima (geada).

Estas limitações estão incluídas dentro de cada classe de capacidade de uso das terras (Figura 4), que devem conter as unidades de capacidade de uso que tornam mais explícita a natureza das limitações. Dessa forma, a unidade de capacidade de uso representa a subclasse perfeitamente qualificada, em função do fator limitante, à semelhança dos exemplos a seguir:

IIIs-1: limitações devidas a profundidade efetiva;
IIIs-3: limitações por pedregosidade;
IIIs-10: limitações por salinidade;
IIIe-1: limitação por declividade;
IIIe-4: limitações por erosão laminar;
IIIe-5: limitações por erosão em sulco.

Uma vez inventariados os fatores que apresentam maior influência sobre o uso das terras, onde destaca-se a natureza do solo, declividade, erosão, drenagem e clima, estes deverão ser interpretados e analisados em conjunto, para a determinação e separação das classes, subclasses e unidades de capacidade de uso das terras. As interpretações para fins agrícolas do levantamento do meio físico devem ser feitas considerando os critérios que refletem a maior ou menor adaptabilidade dos solos e do ambiente para um cultivo ou grupo de cultivos.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1990) a classe VIII corresponde a terras impróprias para qualquer tipo de cultivo, pastagens ou reflorestamento, que devem ser utilizadas para proteção e abrigo da fauna e flora silvestre, para fins de recreação e turismo. Em geral, são áreas que devem ser preservadas por fragilidade ambiental, decorrente de condições especiais de solo e/ou relevo e/ou clima. No presente trabalho adotou-se a Classe “VIII” para caracterizar essas áreas que devem ser preservadas por fragilidade ambiental, e para áreas de preservação permanente (APPs) hídricas e de declive, que foram delimitadas e mapeadas no capítulo 3 desta dissertação.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1. Capacidade de uso das terras da bacia do ribeirão Guaratinguetá

De acordo com a aplicação da metodologia de Lepsch et al. (1991), foram identificadas sete classes de uso das terras: Classe II; Classe III; Classe IV; Classe V; Classe VI; Classe VII e Classe VIII e onze unidades de uso, formadas pela combinação das classes, subclasses e números que identificam o tipo de limitação, ou seja, a unidade da capacidade de uso das terras, na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (Tabela 4).

Tabela 4 – Distribuição das classes de capacidade de uso das terras nas diferentes classes de solo da bacia do ribeirão Guaratinguetá (SP).

GRUPO	CLASSES DE CAPACIDADE DE USO DA TERRA[\1]	CLASSES DE SOLO - ÁREA OCUPADA (km²)					
		Cambissolo Háplico	Cambissolo Húmico	Gleissolo Melânico	Latossolo Amarelo	Latossolo Vermelho-Amarelo	Neossolo Flúvico
A	**II-e8;s3,5,7;a1,2;c2**	-	-	-	-	-	10,06
	II-e10;s5	-	-	-	29,83	5,02	-
	III-e10;s5	-	-	-		0,61	-
	III-e1,10;s5	-	-	-		3,02	-
	IV-e1,10;s5	-	-	-	3,10	5,04	-
B	**V-e8;s1,5,6,7;a1,2,3,4**	-	-	3,87	-	-	-
	VI-e4,5;s1,3;c2	5,14	0,87	-	-	-	-
	VI-e4,5;s1,3	0,98	0,11	-	-	-	-
	VI-e1,10;s5	-	-	-	0,50	11,04	-
	VII-e1,4,5;s1,3	11,14	2,23		-	-	-
C	**VIII**	24,98	12,80	1,01	5,76	5,83	3,20
	Total	**42,24**	**16,02**	**4,88**	**39,19**	**30,56**	**13,26**

[\1] Classes de capacidade de uso das terras, conforme metodologia de Lepsch et al. (1991).

Por meio do cruzamento da base de dados do meio físico, principalmente dos mapas de classes de solo e de declive, foram delimitadas na bacia as subclasses: e – limitações pela erosão presente e/ou risco de erosão; s – limitações relativas ao solo; a – limitações por excesso de água e c – limitações climáticas, apresentadas na figura 5. Quanto às unidades de solo foram identificadas: e1 – declividade acentuada; e4 – erosão laminar; e5 – erosão em sulcos; e8 – depósitos de erosão; e10 – horizonte A arenoso; s1 – solo raso; s3 – pedregosidade ou rochosidade; s5 – baixa saturação por bases; s6 – toxicidade por alumínio; s7 – baixa capacidade de troca catiônica (T); a1 – lençol freático elevado; a2 – risco de

inundação; a3 – subsidência de solos orgânicos; a4 – deficiência de oxigênio nos solos; c2 – risco de geada.

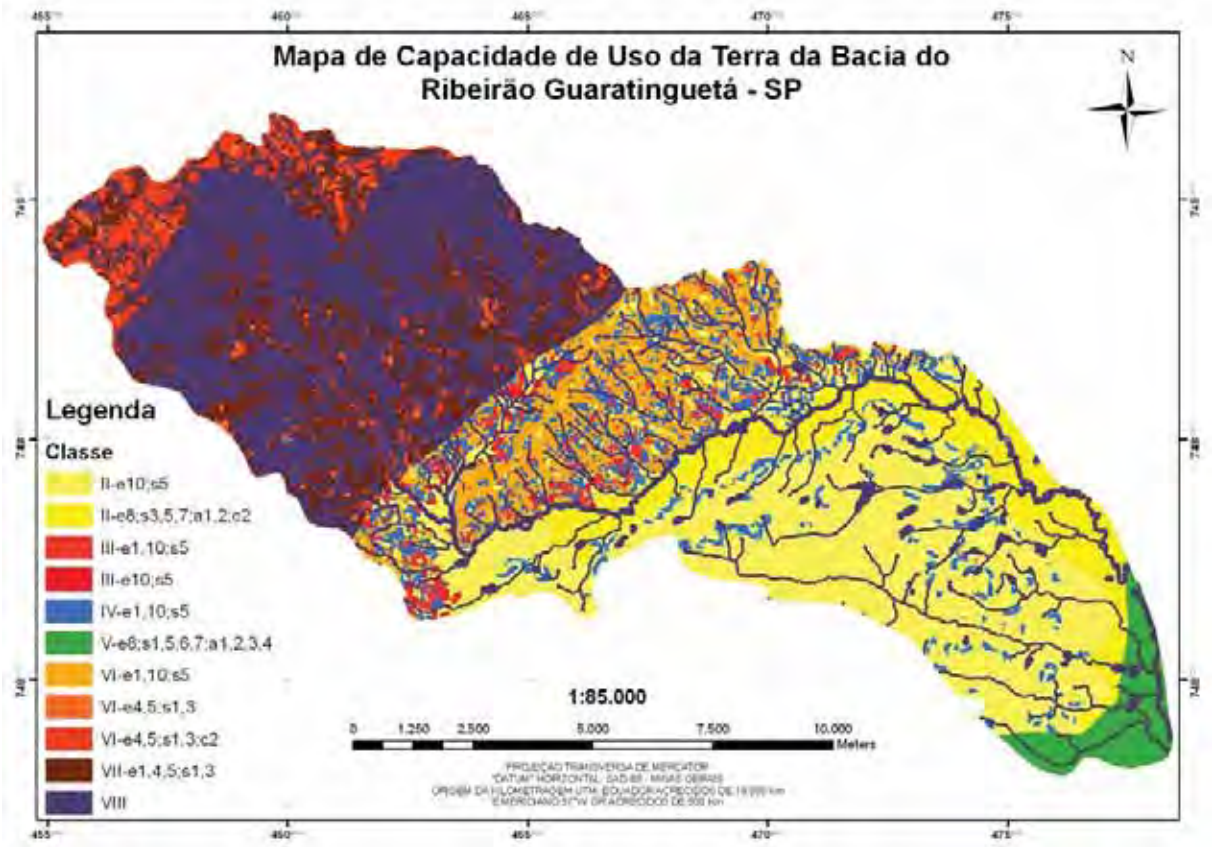

Figura 5 – Mapa de capacidade de uso das terras da bacia do ribeirão Guaratinguetá (SP).

Com base nos dados apresentados na tabela 4, observa-se que 30,7% da área da bacia, 44,91 km^2, pertence à Classe II de uso das terras, ocupada por Latossolos Amarelos e Latossolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Flúvicos, que por suas características, apresentam um enorme potencial para o desenvolvimento de atividades agrícolas.

Apesar do grande potencial agrícola, os Neossolos apresentam limitações intrínsecas a solos de várzea, como lençol freático elevado e risco de inundação, além de se comportarem como depósitos de sedimentos do processo erosivo. Além destas limitações comuns a todos os solos de várzea, na bacia em questão, os Neossolos apresentam excesso de pedregosidade e baixa fertilidade, caracterizada pela baixa capacidade de troca catiônica (T), baixa saturação por bases (V%), elevada acidez (baixo pH) e baixo teor de matéria orgânica (M.O.) (Tabela 5). Além disso, estes solos se encontram em áreas sujeitas à geada.

Tabela 5 – Fertilidade[\1] dos solos da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (SP).

Solos[\2]	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	S	T	V	Cu	Fe	Mn	Zn
	$CaCl_2$	g dm^{-3}	mg dm^{-3}	---------- $mmol_c$ dm^{-3} ----------						%	----------mg dm^{-3}----------			
CX	4,2	31	5	1,1	10	2	65	13,1	78,1	17	0,4	79	6,2	1,0
CX	4,5	14	2	0,7	6	1	30	7,7	37,7	20	0,5	35	8,2	0,5
LVA	4,7	18	7	3,5	9	3	38	15,5	53,5	29	0,9	78	4,0	0,5
LVA	4,3	15	5	1,4	7	1	44	9,4	53,4	18	1,2	76	7,5	0,7
RU	4,6	14	4	3,0	7	1	31	11,0	42,0	26	1,6	74	10,2	0,5
RU	4,6	13	7	1,1	7	2	30	10,1	40,1	25	1,2	58	2,9	0,7
RU	4,4	20	3	1,0	7	1	48	9,0	57,0	16	1,6	75	9,3	0,4
GM	4,7	16	6	1,1	10	3	30	14,1	44,1	32	1,5	90	9,2	0,9

[\1]Métodos de extração: pH: solução $CaCl_2$; Matéria orgânica (M.O.): ácido sulfúrico; P, K, Ca e Mg: Resina; Acidez Potencial (H+Al): SMP; micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn): DTPA; S: soma de bases; T: Capacidade de troca catiônica a $pH_{7,0}$, V: Saturação por bases [\2] CX: Cambissolos Háplicos; LVA: Latossolos Vermelho-Amarelos; RU: Neossolo Flúvico; GM: Gleissolos Melânicos

Os Latossolos, embora se encontrem em áreas de baixa declividade (0-12%), apresentam limitações quanto ao risco de processos erosivos por apresentarem horizonte A arenoso (Tabela 6), o que os torna altamente susceptíveis à instalação de processos erosivos em áreas sob manejo inadequado. Além disso, estes solos também apresentam limitações quanto à fertilidade, devido à elevada acidez, baixa saturação por bases, baixo teor de matéria orgânica e pobre em nutrientes. Estas limitações foram reforçadas no estudo de Fernandes et al. (2010), na bacia estudada pelos autores predomina a Classe dos Latossolos, com 75,8% da área de estudo, os autores comentam as características destes solos, que possuem boa profundidade e permeabilidade, entretanto, são solos quimicamente pobres.

Tabela 6 – Granulometria[\1] dos solos da bacia do ribeirão Guaratinguetá (SP).

Classes de solo[\2]	**Argila**	**Silte**	**Areia**	**Classe textural[\3]**
	---------- **g kg^{-1}** ----------			
CX	139	228	633	arenosa
CX	194	259	547	Areno siltosa
LVA	143	275	582	arenosa
LVA	120	232	648	arenosa
RU	73	305	622	arenosa
RU	22	203	775	arenosa
RU	146	509	345	arenosa
GM	80	266	654	arenosa

[\1] Método da pipeta aplicada em amostras da camada de 0-50 cm de profundidade; [\2] Classes de solo: CX: Cambissolos Háplicos; LVA: Latossolos Vermelho-Amarelos; RU: Neossolo Flúvico; GM: Gleissolos Melânicos; [\3] Classe textural: 0 – 15% argila = arenosa; 15 – 35%= média; 35 – 60% = argilosa; > 60% = muito argilosa conforme Boletim 100 (IAC, 1997).

Na Classe III de uso das terras, que ocupa 3,63km^2, em cerca de 2,5% da área da bacia, encontram-se os Latossolos Vermelho-Amarelos em declives suave-ondulados (9 a 18%). Estes solos, apesar de apresentarem elevada permeabilidade (Embrapa, 2006), possuem textura arenosa ao longo do perfil, que é considerada uma séria limitação referente ao solo

(Lepsch, et al., 1991), pois confere baixa coesão entre as partículas, tornando-os muito suscetíveis à erosão. Além disso, estes solos encontram-se em relevo movimentado e como os demais solos desta bacia apresentam baixa fertilidade, exigindo a aplicação de técnicas de manejo mais específicas para a manutenção da qualidade e estrutura do solo. Apesar destas limitações, essas áreas apresentam potencial para o desenvolvimento de culturas anuais e perenes, com aplicação de medidas intensivas, seguras e permanentes, que garantam o controle de processos erosivos e a conservação do solo.

Na Classe IV de uso das terras, que ocupa uma área de 8,14 km^2, que corresponde a cerca de 5,6% da bacia, encontram-se os Latossolos Amarelos e Latossolos Vermelho-Amarelos, em declives que variam de 12 a 25%. Estes solos ocupam áreas atualmente utilizadas com pastagem, cobertura florestal, agricultura e área urbana. Os Latossolos desta classe, embora também sejam favoráveis ao uso agrícola, apresentam maiores limitações do que os da classe III, por se situarem em áreas mais declivosas, o que confere maiores riscos quanto aos processos erosivos, principalmente porque, além disso, também apresentam horizonte A arenoso e baixa fertilidade, exigindo técnicas especiais de manejo. Campos et al. (2010) sugerem que em áreas cuja classe de solo é propícia à agricultura, mas apresenta limitações relacionadas a declives acentuados, é necessária a implantação de sistema de cultivo em nível aliado ao cultivo em faixas, rotação de culturas, melhoramentos da estrutura física dos solos, dentre outros tipos de beneficiamento e manejo para que estas áreas possam ser usadas para atividades agrícolas.

Na Classe V de uso das terras, encontram-se os Gleissolos Melânicos, que cobrem 3,9% da área total da bacia e que estão sendo ocupados por agricultura, área urbana, cobertura florestal e pastagens. São solos situados em áreas de várzea, próximas ao exutório da bacia, que apresenta limitações relativas ao risco de inundações, além de serem áreas deposicionais, de baixa fertilidade. Além disso, estes solos possuem pouca profundidade, lençol freático elevado e permanecem encharcados nos períodos de cheia. São solos orgânicos que apresentam processos de subsidência, deficiência de oxigênio, toxidade por alumínio, baixa saturação por bases e baixa capacidade de troca.

Na Classe VI de uso das terras, que ocupa 18,64 km^2 da bacia, estão os Cambissolos Háplicos, que correspondem a 6,12 km^2 (32,8%) desta classe e os Cambissolos Húmicos, que ocupam 0,98 km^2 (5,3%). Destes Cambissolos, 3,5 km^2 são mantidos sob cobertura florestal e 3,59 km^2 sob pastagem. Os Latossolos Amarelos ocupam 0,5 km^2 (2,7%) e os Latossolos Vermelho-Amarelos, 11,04 km^2 (59,2%), sendo usados com agricultura (0,052 km^2), área urbana (0,0046 km^2), cobertura florestal (4,08 km^2) e pastagem (7,41 km^2). De acordo com as

características das terras que se enquadram na classe VI os Latossolos apresentam limitações referentes ao risco de erosão devido à declividade acentuada (declives > 25%) e por apresentarem horizonte A arenoso. Os Cambissolos com declives entre 0 e 12% se enquadraram nesta Classe, por apresentarem limitações quanto ao risco de processos erosivos (erosão laminar e em sulcos), são solos rasos, de baixa fertilidade e sujeitos aos afloramentos rochosos e à geada em terrenos com declives de 0 a 9%. São áreas com restrições moderadas ao uso, com problemas simples de conservação, cultiváveis em casos especiais de algumas culturas permanentes protetoras do solo (LEPSCH et al., 1991).

Na Classe VII de uso das terras, os Cambissolos Háplicos, ocupam 11,14km^2 (83,3%) e os Cambissolos Húmicos 2,23km^2 (16,7%). Estes solos que se enquadram nesta classe por apresentarem como limitações a alta declividade (declives de 12 a 25%), pouca profundidade, sendo caracterizados como solos rasos e sujeitos aos afloramentos rochosos. São áreas cultiváveis apenas em casos especiais de algumas culturas perenes, para pastagem e reflorestamento com problemas complexos de conservação das terras e contenção de processos erosivos. Para as Classes VI e VII a silvicultura é uma ótima opção de atividade econômica para estas áreas, pois, segundo Vieira (1978), esse tipo de cobertura vegetal tem grande influência nos processos de escoamento, atuando no mecanismo hidrológico, retardando e desviando o escoamento superficial e consequentemente a erosão.

Na Classe VIII estão as APPs e os Cambissolos em terrenos com declividade > 25%. Esta classe de capacidade de uso das terras está presente nos seis tipos de solos encontrados na bacia, ocupando 53,58 km², da área total da bacia, que corresponde a 36,7%. Nesta classe estão as terras consideradas impróprias para culturas, pastagens e reflorestamento, devendo ter seu uso restrito para fins de armazenamento de água, como ambiente para recreação e como abrigo e conservação da fauna silvestre. De acordo com Campos et al. (2005) as áreas de matas vêm se tornando cada vez mais escassas, sendo estas ocupadas por pastagens. Segundo estes autores algumas ações vêm se desenvolvendo sem planejamento, com métodos inadequados e cortes indiscriminados de coberturas naturais remanescentes e sem estudos sobre impactos ambientais que, certamente, acarretarão em processos erosivos e, consequentemente, em assoreamento dos cursos d'água. Como foi discutido no capítulo 3 do presente trabalho, mais da metade do total de área das APPs está sendo utilizado de maneira indevida, principalmente por pastagens, e por serem áreas frágeis e de grande importância para a manutenção ambiental da bacia, devem ser reflorestadas e mantidas.

Em relação à fertilidade do solo, conforme os dados apresentados na tabela 5, todos os solos da bacia do ribeirão Guaratinguetá são distróficos (saturação por bases inferior a 50%),

apresentam elevada acidez ativa (baixo pH) e potencial (H+Al); baixos valores de soma de bases (S); capacidade de troca catiônica baixas (T ≤ 50 $mmol_c$ dm^{-3}) e médias (T = 51 a 150 $mmol_c$ dm^{-3}); bem como baixos teores de matéria orgânica (MO) e de macro e micronutrientes, com exceção de Fe, que em todos os solos se apresentou em altos teores (Fe ≥ 5 mg dm^{-3} DTPA) e de Mn, que também ocorreu em altos teores (> 5 mg dm^{-3}) na maioria dos solos.

De acordo com os dados de textura apresentados na Tabela 6, os solos das quatro classes, coletados em diferentes pontos da bacia, na profundidade de 0 a 50 cm, apresentam textura arenosa e sua utilização agrícola pode trazer prejuízos relacionados a problemas ambientais, principalmente pela susceptibilidade destes solos aos processos erosivos. Zuo et al. (2008) afirmam que os solos arenosos são considerados ecologicamente muito frágeis e o uso agrícola deveria ser evitado. Mesmo em áreas pouco declivosas, as intervenções antrópicas podem trazer consequências, particularmente relacionadas à contaminação e assoreamento dos cursos de água (OLIVEIRA et al., 2007), e aumento dos riscos de desertificação (CORRÊA, 1997). Segundo Spera et al. (1999), existem muitas informações descritivas sobre os solos arenosos das regiões tropicais. Entretanto, aquelas referentes ao manejo e à conservação dos mesmos ainda são escassas. Estes autores verificaram em seu trabalho que, apesar da baixa aptidão para o cultivo de lavouras de ciclo anual, várias áreas de ocorrência destes solos foram incorporadas ao processo de produção de grãos de maneira intensiva. No estudo realizado por Fernandes et al. (2010), em uma bacia rural, a classe de capacidade de uso predominante na bacia hidrográfica do Jequiriça, recôncavo sul da Bahia, foi a Classe II. Estes autores chamam a atenção para a necessidade de investimentos tecnológicos para o melhoramento dos solos e dos processos produtivos nestas áreas, pois dependendo do tipo de solo, das suas limitações e dos cultivos realizados estas áreas podem ser estafadas, agravando ainda mais os processo de degradação dos solos e dos recursos hídricos. Nesse contexto, práticas de manejo conservacionistas como o plantio direto e a integração lavoura-pecuária podem minimizar o processo de degradação desses solos. Entretanto, as pesquisas relacionadas ao tema são recentes e, ainda, pouco conclusivas, tornando clara a necessidade de estudos mais específicos.

Estes resultados evidenciam que as terras da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, embora apresentem potencial para uso agropecuário, também possui sérias restrições, principalmente quanto à estrutura física dos solos e à fertilidade. Estes dados serão de extrema importância para a avaliação da adequabilidade do uso das terras, tornando possível o planejamento agroambiental e o uso sustentável das terras da bacia.

4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego do SIG ArcGis 9.2, foi eficiente para delimitar em mapa as Classes de capacidade de uso das terras da bacia do ribeirão Guaratinguetá e para identificar as áreas onde o uso atual não atende à capacidade de uso das terras. Estes dados poderão ser aplicados no planejamento agroambiental da bacia.

Todas as unidades de capacidade de uso definidas nesta análise incluíram classes de terras que necessitam de uma atenção especial para o manejo das atividades agropecuárias propostas.

Este estudo evidenciou o potencial que esta bacia apresenta para o desenvolvimento de atividades agropecuárias, considerando que 92,57 km², cerca de 63,3% de sua área pertence aos grupos A e B de capacidade de uso, que incluem classes II, III e IV de terras aptas aos cultivos agrícolas; classes V, VI e VII, que são terras aptas às pastagens e à silvicultura e, em alguns casos, com problemas para a conservação das terras, necessitando de práticas especiais de manejo para garantir a viabilidade das atividades praticadas na área, uma vez que este estudo evidenciou também a deficiência química dos solos de toda a bacia. Os demais 53,57km² da área da bacia (36,7%), foi classificada como pertencente ao grupo C e classe VIII, evidenciando que, apesar do potencial para desenvolvimento de atividades agropecuárias, esta bacia apresenta uma grande proporção de áreas ambientalmente frágeis, cuja preservação é imprescindível para a manutenção da qualidade dos recursos naturais, da biodiversidade e para se tornar um ambiente equilibrado e sustentável.

Os dados obtidos neste estudo poderão fundamentar as tomadas de decisão no planejamento do uso da terra, no sentido de otimizar o uso e ao mesmo tempo proteger os recursos naturais desta bacia hidrográfica, tornando-a social, ambiental e economicamente sustentável.

4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, F. B.; Zullo Jr.; J.; Oliveira, J. B. de. *Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo.* R. Bras. Ci. Solo, 11:11-15, 1987.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo. São Paulo*, SP: Ícone, 1990. 355p.

BRANDÃO ROCHA, M. B.; ROSA, R. *Caracterização do meio físico e monitoramento do uso da terra em 1985 e 2005 do município de Araxá -MG*. Caminhos de Geografia, Brasília, DF, 9.25, 17 04 2008.

CAMPOS, S., NARDINI, R. C., BARROS, Z. X. de, CARDOSO, L. G.. *Sistema de informações geográficas aplicado à espacialização da capacidade de uso da terra.* Pesquisa Agropeuária. Tropical, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 174-179, abr./jun. 2010.

CAMPOS, S.; SILVA, C. L. da; SANTOS, T. G. dos; PIROLI, E. L. *Análise do uso inadequado da terra através do SIG-IDRISI.* Rev. Irriga, Botucatu, v. 10, n. 2, p. 166-173, maio-julho, 2005.

COMPANHIA DE SERVIÇOS DE ÁGUA, ESGOTO E RESÍDUOS DE GUARATINGUETÁ – SAEG. *"Projeto de monitoramento da qualidade de água do ribeirão Guaratinguetá – Fase I, Diagnóstico da utilização de agroquímicos em agricultura irrigada, cadastro de usuários de água e levantamento da ocupação e uso do solo"* – Relatório Final. Geoambiente, 2005. 97p.

COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL - CATI. Instituto de Economia Agrícola. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. *Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo – LUPA 2007/2008.* São Paulo: SAA/CATI/IEA, 2008.

CORRÊA, A. A. M. *O deserto de Jalapão*. Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.22, n.3, p.134-136, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. Ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FAO. *A Framework for land Evaluation*. Rome,1976. 72p. (FAO. Soils Bulletin, 32).

FERNANDES, N. B.; MOREAU, M. S.; MOREAU, A. M. S. S.; COSTA, L. M.. *"Capacidade de uso das terras na bacia hidrográfica do Jiquiriçá, recôncavo sul da Bahia"* Caminhos de Geografia. Uberlândia v. 11, n. 34 jul/2010 p. 105 – 122.

GIBOSHI, M. L. *Desenvolvimento de um sistema especialista para determinar a capacidade de uso da terra.* Campinas: UNICAMP, 1999, 77p. Dissertação Mestrado.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. rev. atual. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285p.

KLINGEBIEL, A. A.; MONTGOMERY, P. H. *Land – capability classification.* Washington, D. C. USDA, 1961. 21p. (Agriculture Handbook 210) apud LEPSCH, I. F.; BELLINAZI Jr., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. *Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso.* 4ª Aproximação. 2ª edição. Campinas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZI Jr., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. *Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso.* 4ª Aproximação. 2ª ed.. Campinas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991.175p.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. de P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. da R. *Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo*. Acta Scientiarum Maringá, v.24, n.5, p.1335-1340, 2002.

MARQUES, A. F. S. e M. *Geoambientes, solos, avaliação e uso atual das terras na bacia do Rio Alcobaça, MG e BA.* Viçosa UFV, 2000. 167p. (Tese Doutorado)

OLIVEIRA, S. B. P.; LEITE, F. R. B.; BARRETO, R. N. C. *Sistemas e subsistemas ambientais do município de Itapipoca-CE. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto,* 2007, Florianópolis. Anais. Florianópolis: SBSR, 2007.

OLIVEIRA, J. B.; SOSA, S. M. *Sistema de Classificación de la Aptitude Agro-ecologica de la Tierra (S.C.A.A.T.) para la Region Oriental del Paraguay.* 1ª aproximación. Asunción, Paraguay: UNA.FCA.CIF.GTZ. 1995. 77p.

OLIVEIRA, J. B.; BERG, M. van den. *Aptidão Agrícola das Terras do Estado de São Paulo: quadrícula de Araras.* II Memorial Descritivo. Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, SP,1985. 60p. (Boletim Técnico n.º 102).

OLIVEIRA, J. R. A.; MENDES, I. C.; VIVALDI, L. *Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração.* Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.25, n.4, p.863-871, 2001.

PEREIRA, L. C. *Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental: proposta metodológica.* Tese (Doutorado em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. 122p.

PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F. F. M. DE; PRANDINI, F. L. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.* São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981. 94 p.

SAIZ C. del C.; VALÉRIO FILHO M. . *Técnicas de geoprocessamento aplicadas ao levantamento e integração de dados do meio físico como subsídio ao planejamento conservacionista.* In: Congresso Latino Americano de Ciência do Solo, 13. Águas de Lindóia – São Paulo, 04 a 08 de agosto de 1996, Anais . . . , ESALQ – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" USP, Departamento de Ciência do Solo, Piracicaba – SP – Brasil, 1996.

SANABRIA, J. A.; ARGUELLO, G. L.; MANZUR, A.. *Aplicacion del metodo de susceptibilidad a la erosion de van zuidan y cancelado en la cuenca baja del arroyo San Agustin Cordoba,* Argentina. In: Congresso Latino Americano de Ciência do Solo, 13., Águas de Lindóia – São Paulo, 04 a 08 de agosto de 1996, Anais . . . , ESALQ – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" USP, Departamento de Ciência do Solo, Piracicaba – SP – Brasil, 1996.

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

SILVA, J. U. L. *A dinâmica atmosférica e a distribuição de chuvas na região "lesnordeste" paulista.* Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, São Paulo. 206p. 1999.

SILVA, W. M.; SIMÕES S. J. C. *Caracterização espacial da precipitação regional e suas relações com a variabilidade climática - a bacia do rio Paraíba do Sul, sudeste do Brasil.* Revista de Geografia da USP. *No prelo.*

SIMÕES, S. J. C.; BARROS, A. P. *Regional climate variability and its effects on Brazil's 2001 energy crisis.* Management Environmental Quality, [S.l.], v.18, n. 3, p. 263-273, 2007.

SOARES, P. V. *As interrelações de elementos do meio físico natural e modificado na definição de áreas potenciais de infiltração na porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul.* (Tese de Doutorado). 2005. 192p.

SPERA, S. T.; REATTO, A.; MARTINS, E. S.; CORREIA, J. R.; CUNHA, T. J. F. *Solos areno-quartzosos do Cerrado: características, problemas e limitações ao uso.* Planaltina: Embrapa-CPAC, 1999. 48p.

THE NATURE CONSERVANCY – TNC. *"Relatório Técnico: Interpretação de Uso e Ocupação do Solo da Bacia de Guaratinguetá"*. 2006.

TORRES, J. L.; BARRETO, A.; DE PAULA, J. *Capacidade de uso das terras como subsídio para o planejamento da microbacia do córrego Lanhoso, em Uberaba (MG).* Caminhos de Geografia, Brasília, DF, 8.24, 18 12 2007.

VIEIRA, N. M. *Estudo geomorfológico das voçorocas de Franca, SP*. Franca: UNESP, 1978. 255p. Tese (Doutorado).

WEILL, M. de A. M. *Metodologias de avaliação para fins agrícolas.* Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro, RJ, 52:127-160. 1990.

YOUNG, A.. *Tropical Soils and Soil Survey*. University of Cambridge Press, Cambridge, Inglaterra. 268 p., 1976.

ZUO, X.; ZHAO, H.; ZHAO, X.; ZHANG, T.; GUO, Y.;WANG, S.; DRAKE, S. *Spatial pattern and heterogeneity of soil properties in sand dunes under grazing and restoration in Horqin Sandy Land, Northern China*. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.99, n.2, p.202-212, 2008.

CAPÍTULO 5

PROPOSTA DE MACROZONEAMENTO AGROAMBIENTAL DA BACIA DO RIBEIRÃO GUARATINGUETÁ, SP.

RESUMO

FERREIRA, Mariana Cassiano. **Proposta de macrozoneamento agroambiental da bacia do ribeirão Guaratinguetá, SP. In: _____ Proposta para o uso e manejo sustentável da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, SP.** Bauru: UNESP, 2011. Cap. 5, p. 84 – 98. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental).

Neste trabalho foram elaboradas propostas de adequação do uso das terras e de macrozoneamento ambiental da bacia do ribeirão Guaratinguetá. Inicialmente empregou-se o software ArcGIS®, versão 9.2, do Sistema de informações Geográficas (SIG) para a interseção dos mapas de uso atual com o de capacidade de uso das terras para fins agrícolas, da qual foi gerado o mapa de adequação do uso das terras. Por meio da análise conjunta destes mapas pode-se constatar que 43,5% da área desta bacia, corresponde às áreas adequadas; 36,7% são áreas subutilizadas, em especial por pastagens e em menor escala por cobertura florestal e 19,8% são áreas inadequadas à capacidade de uso das terras. Por meio da interseção dos mapas de uso e ocupação do solo, de capacidade de uso das terras e de adequação do uso das terras foram estabelecidas as zonas de usos, que condizem com as áreas adequadas existentes e com a capacidade de uso das terras. O macrozoneamento agroambiental possibilitou identificar que esta bacia apresenta um bom potencial agrícola, considerando que 37,9% de sua área é agricultável. No entanto, 45,2% de sua área é ocupada por terras que devem ser destinadas à conservação ambiental, restando 14,9% para uso com pastagem ou silvicultura, e apenas 1,4% de áreas adequadas à ocupação urbana. Estas propostas de adequação de uso e de macrozoneamento são subsídios fundamentais ao processo de revitalização da bacia do ribeirão Guaratinguetá e que conduzirão ao seu desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

FERREIRA, Mariana Cassiano. **Macro-zoning proposal for the agri-environmental Guaratinguetá stream basin in São Paulo State. SP. In: _____ Proposal for the sustainable use and management of Guaratinguetá stream basin in São Paulo State.** Bauru: UNESP, 2011. Cap. 5, p. 84 – 98. (Dissertation – Master in Civil and Environmental Engineering).

This work was proposed adequacy of land use and environmental macrozoning Guaratinguetá stream basin. Initially it was used the software ArcGIS ® version 9.2, the information system (GIS) to the intersection of the maps in current use with the capacity to use the land for agricultural purposes, which was generated map of the suitability of using land. Through joint analysis of these maps can be seen that 43.5% of the area of the basin corresponds to the appropriate areas, 36.7% are underused, especially by pastures and to a lesser extent by forest cover and 19.8% areas are inadequate to the ability of land use. Through the intersection of land use maps and land use, capacity for land use and suitability of land use zones were established uses that are consistent with existing and appropriate areas with the ability to use the land. The agri-environmental macrozoning identified that this basin has a good agricultural potential, whereas 37.9% of its area is arable. However, 45.2% of its area is occupied by land that should be aimed at environmental conservation, leaving 14.9% for use with grazing or forestry, and only 1.4% of suitable areas for urban occupation. These proposals for appropriateness of use and macrozoning subsidies are fundamental to the process of revitalizing the Guaratinguetá stream basin and that will lead to sustainable development.

5.1. INTRODUÇÃO

O processo contínuo de desmatamento no Estado de São Paulo e o uso e manejo inadequado dos solos causaram, historicamente, um aumento dos processos erosivos, com a consequente redução da fertilidade dos solos agrícolas e a poluição e assoreamento dos cursos d'água. Para Attanasio et al. (2006) esses fatos em muito contribuíram para a redução da produtividade das lavouras e a estagnação ou decadência econômica de muitos municípios e regiões, resultando finalmente, em de ciclos de ocupação e desocupação das áreas rurais do estado.

Assim como foi descrito no primeiro capítulo dessa dissertação, é fundamental reconhecer que a bacia hidrográfica é a unidade básica para caracterização, quantificação, análise e gerenciamento dos recursos e processos naturais, onde a água representa o componente unificador de integração no manejo devido sua estreita relação com os outros recursos ambientais (LIMA, 1996). A bacia hidrográfica corresponde a um sistema biofísico e sócio econômico interligado e interdependente, apresentando as condições adequadas e singulares para planejamento e gestão do uso da terra pelo homem e sua compatibilização com a preservação da natureza (ROCHA et al., 2000; LIMA, 1999). Os trabalhos em bacias também promovem a racionalização dos esforços e dos recursos federais, estaduais e municipais de acordo com as necessidades e prioridades identificadas, potencializam as parcerias interinstitucionais e interdisciplinares, além de estimular o envolvimento das comunidades rurais (SOUZA et al., 2000).

A crescente preocupação social com o destino das florestas remanescentes faz com que as atividades de produção, que não desenvolvem um planejamento ambiental adequado, cuja atuação resulte em degradação ambiental, estejam fadadas a sanções cada vez mais restritivas, não só legais, mas também impostas pelo mercado consumidor que cada vez mais exige produtos gerados sem degradação (ATTANASIO et al., 2006). Assim, o paradigma da produção de alimentos com sustentabilidade econômica, social e ambiental é o grande desafio da atualidade (RODRIGUES; NAVE 2004).

Embora o conceito de manejo sustentável dos recursos naturais nunca vai poder ser implementado através de fórmulas universais, não restam dúvidas de que se torna necessário desenvolver modelos alternativos de manejo, visando frear o processo de degradação ambiental (ZAKIA et al., 2008). Uma alternativa consensual, que ganhou ímpeto em anos recentes, consiste no manejo sistêmico, ou integrado, que permita a produção de bens e serviços demandados pela sociedade, e que ao mesmo tempo garanta a manutenção dos

processos ecológicos no contexto da paisagem, em termos de biodiversidade, saúde da bacia e recursos hídricos (LIMA, 2003).

O zoneamento geoambiental pode ser caracterizado como um instrumento de auxílio no planejamento e no ordenamento territorial, em escala regional ou local, pois estudos desta natureza possibilitam a caracterização de áreas quanto às suas aptidões e restrições às atividades já em desenvolvimento e/ou prováveis de serem implantadas, além de indicar porções do terreno com uma maior qualidade ambiental que possam ser preservadas (GRECCHI, 1998). Segundo Millikan e Del Prette (2000), os zoneamentos realizados no Brasil estão relacionados a duas tradições, sendo uma delas referente à regulação de uso do solo urbano e a outra ao zoneamento agrícola. A primeira tradição está diretamente ligada à preocupação com a saúde humana, definindo zonas específicas para as diversas atividades, de forma a manter as áreas residenciais isoladas de possíveis incômodos e perturbações. Já a segunda tradição, a de "zoneamento agrícola", objetiva indicar aptidões de acordo com as diferentes atividades produtivas do meio rural, não impondo regras de uso do solo, mas auxiliando na tomada de decisão, tanto para o produtor rural quanto para as políticas de financiamento de atividades agrícolas (RANIERI et al. 2005).

Para Araujo (2008) o macrozoneamento é a cartografia das diretrizes para o estabelecimento de um Plano Diretor de um município. Para o autor, no âmbito jurídico, o macrozoneamento estabelece um referencial espacial para o uso e a ocupação do solo, em concordância com as estratégias de política urbana. Além disso, defini inicialmente grandes áreas de ocupação: zona rural (por exemplo, para produção de alimentos, exploração de minérios, produção de madeira) e a zona urbana (residências, indústrias, comércio e serviços, equipamentos públicos). Dessa maneira, o perímetro urbano pôde ser delimitado, ou seja, a área em cujo interior valem as regras da política urbana. A partir da definição do perímetro urbano, o macrozoneamento define, ainda em grandes áreas de interesse de uso, as zonas onde se pretende incentivar, coibir ou qualificar a ocupação.

Na bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, o desmatamento, a erodibilidade do solo e a falta de conhecimento dos produtores rurais sobre uso e manejo adequados do solo, estão entre os principais fatores que vêm causando o aumento progressivo dos processos erosivos e, consequentemente, o assoreamento deste ribeirão e impactos ambientais e sociais, considerando que a população do município é abastecida por suas águas. Diante da importância sócio-econômica e ambiental desta bacia hidrográfica e de todos os resultados obtidos nos capítulos anteriores dessa dissertação, ficou clara a necessidade de uma proposta de adequação do uso desta bacia, buscando atender à capacidade de uso das terras definida no

quarto capítulo. Assim, neste capítulo final, serão apresentadas propostas para a adequação de uso das terras e o macrozoneamento da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá, com intervenções, quando estas forem necessárias, que possibilitem o uso e manejo sustentável e a revitalização desta bacia.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1. Mapa de adequação do uso das terras

Para a adequação do uso das terras foram utilizadas as informações do banco de dados do meio físico e dos levantamentos de campo, seguindo as metodologias desenvolvidas por Lagrotti (2000) e Calhau (2005). Utilizando o software ArcGIS® versão 9.2, foi realizada a intersecção (ferramenta *intersect*) dos mapas de uso e ocupação do solo com o de capacidade de uso das terras, por meio da qual foi gerado o mapa de adequação do uso das terras (Anexo 4). Neste mapa foram definidas as áreas adequadas, inadequadas e as subutilizadas, respeitando a capacidade de uso das terras. A partir deste mapa foram feitas propostas para a adequação das atividades desenvolvidas na bacia.

5.2.2. Mapa de macrozoneamento da bacia

A partir da base de dados gerada neste trabalho foi possível realizar uma análise detalhada do uso atual da bacia, de suas características físicas e dos problemas resultantes do uso e manejo inadequado dos recursos naturais. Com base nestas informações e adaptando os elementos avaliados (Figura 1) da metodologia de zoneamento da Embrapa (2000), foi possível a geração do mapa de macrozoneamento da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá. Esta metodologia é uma síntese de varias pesquisas realizada no Norte do país com o intuito de caracterizar áreas permitindo o uso e ocupação racional das mesmas. Foi necessário realizar adaptações nesta metodologia para que ela se adequasse as características do meio físico da região do Vale do Paraíba, principalmente das bacias a margem esquerda do Rio Paraíba do Sul. Por meio da interseção dos dados dos mapas, anteriormente gerados, de uso e ocupação do solo; capacidade de uso das terras e de adequação do uso da terra, utilizando o software ArcGIS® versão 9.2, foi possível estabelecer as zonas onde o uso atual

é adequado e as zonas onde o uso atual é inadequado por não atender a capacidade de uso das terras, bem como as zonas subutilizadas (Anexo 4).

Figura 1 – Elementos envolvidos na proposta de macrozoneamento da bacia do ribeirão Guaratinguetá (adaptado de EMBRAPA, 2000).

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1. Adequação do uso das terras

A partir do cruzamento de dados do uso atual e da capacidade de uso das terras para atividades agrícolas, foram definidas as áreas adequadas, inadequadas e subutilizadas da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (Tabela 1).

Tabela 1 – Áreas adequadas, inadequadas e subutilizadas da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (SP).

Classes de capacidade de uso	Área de uso e ocupação (km²)				
	Agricultura	Lamina d'água	Área Urbana	Cobertura Florestal	Pastagem
II-e8;s3,5,7;a1,2;c2	3,94	-	0,35	0,32	5,45
II-e10;s5	4,46	-	1,60	2,81	25,97
III-e10;s5	0,01	-	0,02	0,12	0,45
III-e1,10;s5	0,03	-	0,01	0,74	2,24
IV-e1,10;s5	0,39	-	0,07	1,58	6,10
V-e8;s1,5,6,7;a1,2,3,4	0,78	-	0,86	0,33	1,90
VI-e4,5;s1,3;c2	-	-	0,0044	2,90	3,10
VI-e4,5;s1,3	-	-	0,0027	0,60	0,49
VI-e1,10;s5	0,05	-	0,0046	4,08	7,41
VII-e1,4,5;s1,3	-	-	0,03	7,86	5,48
VIII	1,96	0,92	0,31	30,15	20,23

	Total de áreas (km²)
Áreas inadequadas	28,93
Áreas subutilizadas	53,69
Áreas adequadas	63,52
Total da bacia	146,14

Comparando os dados de capacidade de uso com os de uso atual das terras, verifica-se que a maior parte das terras, que tem potencial para uso agrícola está sendo subutilizada com pastagens em sistema extensivo (70,0%) e com cobertura florestal (7,0%), considerando que 76,9% da área ocupada pela Classe II de uso das terras, é representada pelos Latossolos e Neossolos Flúvicos, que são indicados para o desenvolvimento agrícola.

Também na Classe III de uso das terras, onde se encontram os Latossolos Vermelho-Amarelos, que mesmo estando em declives suave ondulados, são considerados altamente favoráveis às atividades agropecuárias, verificou-se que em quase totalidade (97,9%) estas áreas estão sendo subutilizadas com pastagens em sistema extensivo (74,1%) e com cobertura florestal (23,8%).

Na Classe IV de uso das terras, que também está representada pelos Latossolos, que são favoráveis ao uso agrícola, mas com maiores limitações referentes à declividade acentuada e à susceptibilidade aos processos erosivos, verificou-se que 19,4% da área ocupada por esta classe está sendo subutilizada com cobertura florestal e 75,0% com pastagem, sendo que apenas 4,7% vêem sendo utilizados para fins agrícolas.

Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Menezes et al. (2009), em uma bacia hidrográfica rural em Minas Gerais, onde a maior parte das áreas com capacidade de uso agrícola (79,7 %) era subutilizada com pastagem nativa. De acordo com os autores isso ocorre, principalmente, em razão da grande extensão de áreas cobertas com pastagem nativa, pois a declividade acentuada e a baixa fertilidade dos solos fazem com que os produtores, ao invés de investir na melhoria da qualidade das terras e no seu potencial produtivo, adotam o pastejo intensivo como atividade econômica mais adequada para suas propriedades.

Na Classe V de uso das terras, encontram-se os Gleissolos Melânicos, que cobrem 3,9% da área total da bacia e que estão sendo ocupados por agricultura, área urbana, cobertura florestal e pastagens. Destes usos verifica-se que 8,5% estão sendo subutilizados por cobertura florestal, que poderiam ser usados para pastagens, cultivos perenes e silvicultura. Além disso, 22,2% desta área estão sendo ocupados de maneira indevida pela urbanização, considerando o alto risco de inundação destas áreas durante os períodos de cheia.

Na Classe VI de uso das terras, que ocupa 18,6 km^2 da bacia, estão os Cambissolos que ocupam 7,09 km^2 (38,1%) dos quais 3,5 km^2 são mantidos sob cobertura florestal e 3,59 km^2 sob pastagem e os Latossolos, que ocupam 11,54 km^2 (61,9%) e são utilizados com agricultura (0,052 km²), área urbana (0,0046 km²), cobertura florestal (4,08 km^2) e pastagem (7,41 km^2). De acordo com estas informações verificou-se que cerca de 59,0% destas áreas estão sendo utilizadas de forma adequada com pastagens e núcleos urbanos. Por outro lado, também existem áreas que, embora ocupem apenas 7,58 km², estão sendo subutilizadas por cobertura florestal e que apresentam potencial para uso com pastagem, silvicultura e para a implantação de sistemas agroflorestais. As áreas inadequadas referem-se ao uso de Cambissolos com atividades agrícolas (0,3%) e ocupação por núcleos urbanos (0,0046 km²), que embora use uma pequena área da bacia, encontra-se em declives maiores que 25% e em solos com alta susceptibilidade aos processos erosivos, com sérios riscos de deslizamento.

Na Classe VII de uso das terras se encontram os Cambissolos, que apresentam sérias limitações devidas à alta declividade (12 a 25%), à pouca profundidade, com problemas complexos de conservação e contenção de processos erosivos, com áreas sujeitas aos afloramentos rochosos, sendo por estas limitações, cultiváveis apenas em casos especiais com algumas culturas perenes, pastagens e silvicultura. Destas áreas 41,2% (5,52 km²) estão sendo ocupadas por núcleos urbanos e pastagens em sistema extensivo, que foram consideradas inadequadas, devido à declividade onde se situam e ao histórico de escorregamentos, que incluem áreas com cobertura florestal.

Na Classe VIII estão as APPs e os Cambissolos em terrenos com declives superiores a 25%, que por estas condições, são terras consideradas impróprias para culturas, pastagens e silvicultura, devendo ter seu uso restrito para fins de armazenamento de água, como ambiente para recreação e como abrigo e conservação da flora e da fauna silvestre. Das áreas definidas como sendo Classe VIII de uso das terras, 42% estão sendo utilizadas de forma inadequada, por atividades agrícolas (1,96 km²), desenvolvimento de núcleos urbanos (0,31km²) e pastagens (20,23km²).

No sistema de adequação de uso das terras, verificou-se que 43,5% da área da bacia, foram classificados como áreas adequadas aos usos atuais; 36,7% como áreas subutilizadas, em especial por pastagens e em menor escala por cobertura florestal e 19,8% como inadequadas (Figura 2). Calhau (2005) sugere que, em caso onde se tem maior porcentagem da área da bacia classificada como subutilizada e inadequada, o uso atual das terras deve ser revisto, considerando tanto as atividades de agricultura, pecuária e preservação ambiental, como as áreas sem utilização.

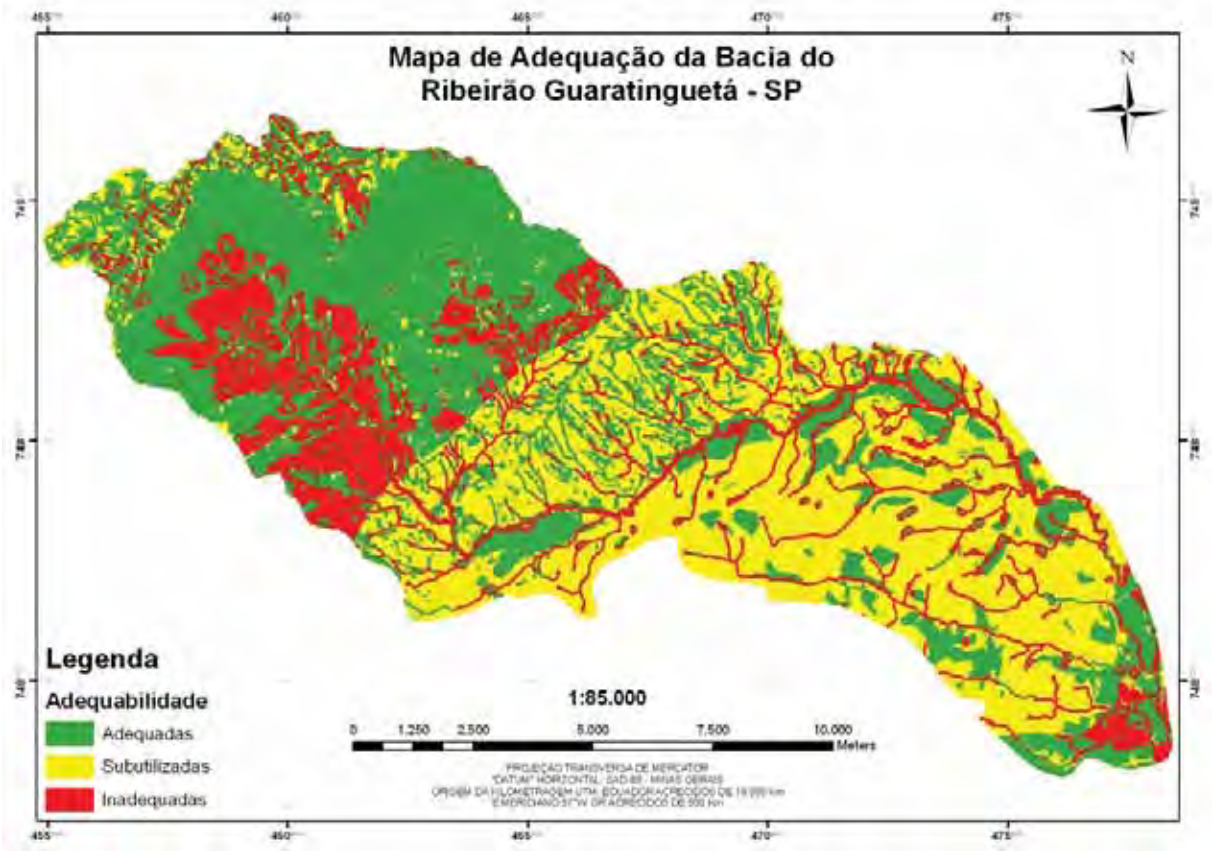

Figura 2 – Mapa de adequação de uso das terras da bacia do ribeirão Guaratinguetá (SP).

Estas informações sobre o uso adequado das terras são importantíssimas para a estruturação e viabilização de um planejamento agroambiental da bacia, pois, assim como

propôs Muramoto et al. (1993), para a adequação agrícola das terras foram consideradas a caracterização do meio físico, o uso atual e a determinação da capacidade de uso das terras. Com estes dados foi possível identificar a compatibilidade entre a capacidade de uso das terras e o uso atual e a delimitação das áreas que estão sendo utilizadas com atividades inadequadas à capacidade de uso e que podem causar prejuízos ao ambiente e as áreas subutilizadas, ou seja, utilizadas com atividades abaixo da capacidade de uso das terras.

5.3.2. Macrozoneamento agroambiental da bacia

Na tabela 2 estão descritas as quatro classes de uso das terras, classificadas no macrozoneamento proposto para a bacia: Zona de uso urbano (ZUUrb), Zona de conservação ambiental (ZCA), Zona de uso agrícola (ZUA) e Zona de uso agropecuário (ZUAgro), sendo estabelecidos os limites para o macrozoneamento da bacia do ribeirão Guaratinguetá.

Tabela 2 – Macrozoneamento proposto para a bacia do ribeirão Guaratinguetá (SP).

MACROZONEAMENTO PROPOSTO			
ZONAS PROPOSTAS	**% EM RELAÇÃO À ÁREA DA BACIA**	**CARACTERÍSTICAS (USO DA TERRA)**	**OBJETIVO**
Zona de Conservação Ambiental (ZCA)	45,2	Remanescentes, APPs hídricas e de declive, áreas de classes VII e VIII da capacidade de uso da terra.	Preservar os ecossistemas florestais e a biodiversidade assim como a qualidade do solo e dos recursos hídricos.
Zona de Uso Agrícola (ZUA)	37,9	Áreas agrícolas adequadas e áreas subutilizadas enquadradas na capacidade de uso nas classes II, III e IV.	Cultivo, principalmente de culturas anuais, utilizando práticas de beneficiamento que se enquadrem no contesto de sustentabilidade e conservação dos recursos naturais.
Zona Uso Agropecuário (ZUAgro)	14,9	Áreas de pastagem adequadas e áreas subutilizadas enquadradas na capacidade de uso nas classes V e VI.	Aproveitamento econômico para fins de pastagem, reflorestamento e culturas perenes, necessitando de práticas especiais para a conservação do solo e dos recursos naturais.
Zona de Uso Urbano (ZUUrb)	1,4	Área urbana existente, e classificada com uso adequado.	Planejar e disciplinar a ocupação, a partir de critérios de conservação ambiental.
Lâmina d'água	0,6	Área da superfície de cursos hídricos: rios, lagos e nascentes	Atender as necessidades sociais, econômicas e ambientais da população.

Para Silva (2003) o zoneamento é a divisão de uma área em zonas específicas destinadas a determinadas atividades, para exploração, conservação ou preservação. De acordo com este autor, ao selecionar onde construir, o quê, quanto e quando plantar, o

Homem está elaborando seu planejamento e a identificação e delimitação de zonas sempre obedece a algum critério empírico ou técnico. Entretanto, o autor ainda afirma que, em um zoneamento ambiental, os fatores que compõem o meio físicobiótico-sócio-econômico com suas vocações e fragilidades devem ser considerados, assim como suas inter-relações, já que o mesmo é a base para o planejamento ambiental.

A zona de conservação ambiental (ZCA), a mais restritiva, é composta pelas APPs hídricas e de declive da bacia, respeitando a legislação ambiental vigente; áreas restritas ao uso agropecuário (classes VII e VIII da capacidade de uso) e a área de cobertura florestal existente.

A zona de uso agrícola (ZUA) foi definida pelas áreas de agricultura existentes e que apresentam uso adequado, e pelas áreas classificadas como II, III e IV pela capacidade de uso das terras, sendo áreas com potencial agrícola de culturas anuais com algumas práticas simples de controle de erosão, correção dos solos, compatível com o histórico de uso da terra e da economia da bacia.

A zona de uso agropecuário (ZUAgro) foi estabelecida em áreas existentes de pastagem classificadas como adequadas para a prática e áreas de capacidade de uso classificadas como V e VI. São terras indicadas para culturas perenes, reflorestamento e pastagem, e que em alguns casos, necessitam de práticas especiais de manejo do solo e de controle de processos erosivos. Foram incluídas nesta zona áreas em campos de altitudes que devem ser avaliadas de uma forma mais criteriosa devido à importância ambiental desse bioma.

A zona de uso urbano (ZUUrb) foi estabelecida em áreas urbanas existentes e definidas como de uso adequado. Não foi proposto o crescimento urbano na bacia, considerando que seu maior potencial é para desenvolvimento de atividades agropecuárias e em menor escala para o turismo.

Conforme pode ser observado na Figura 3, no macrozoneamento agroambiental, verificou-se que 37,9% da área da bacia têm potencial para o desenvolvimento agrícola; 14,9% têm potencial para serem usadas com pastagem ou silvicultura, 45,2% são áreas que devem ser destinadas à conservação ambiental e apenas 1,4% de áreas adequadas e que já estão ocupadas para o desenvolvimento de núcleos urbanos.

Santos (2010) comenta em seu estudo a importância de subsídios e informações da região estudada, pois considera que estes fundamentam as discussões sobre o zoneamento ambiental, enquanto instrumento de planejamento e ordenamento territorial, permitindo a

análise de sua elaboração e uso em diferentes casos e situações, abrindo caminho para o fortalecimento desta discussão, ainda que de forma preliminar.

Figura 3 – Mapa de macrozoneamento proposto para a bacia do ribeirão Guaratinguetá (SP).

5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego do ArcGIS®, versão 9.2, do Sistema de Informações Geográficas mostrou-se uma excelente ferramenta para os estudos relacionados à delimitação de áreas de preservação permanente, capacidade de uso das terras e para a interseção destes mapas na geração de mapas de adequação do uso das terras e de proposta para o macrozoneamento agroambiental da bacia do ribeirão Guaratinguetá. O SIG possibilitou também a criação de uma planilha de informações da bacia, facilitando a utilização dos dados obtidos para ações de planejamento ambiental da área.

De acordo com os resultados apresentados, conclui-se que esta bacia apresenta uma potencialidade para uso agrícola, principalmente, devido às extensas áreas de várzea, ocupadas com Neossolos Flúvicos, que são planas e mecanizáveis e à presença de Latossolos, que também são favoráveis ao uso agrícola. A maior parte de suas terras (38,8%) apresenta potencial para uso com culturas anuais, levando-se em consideração os diferentes tipos de

manejo, pois devido à baixa fertilidade do solo e o declive mais acentuado em algumas áreas de Latossolos torna-se necessário o emprego de técnicas que alcancem o máximo potencial produtivo destas áreas, de maneira sustentável.

O restante da área (15,4%) apresentou, como melhor recomendação de uso, atividades menos intensivas, referentes ao cultivo de pastagem e silvicultura ou pastagem natural. As áreas consideradas inadequadas para o uso agrícola (9,1%) apresentam restrições de solo (pouca profundidade) e de relevo (forte ondulado a montanhoso). Essas áreas, portanto, devem ser destinadas para outros fins como o plantio de culturas permanentes ou para a preservação da flora e fauna, uma vez que, sob uso mais intensivo, pode ocasionar problemas relacionados ao desgaste físico, químico e biológico dos solos.

Com relação à avaliação do uso e ocupação das terras, um dos aspectos relevantes refere-se ao uso inadequado das APPs da bacia, sendo possível verificar que 48,2% das APPS estão sendo usadas com pastagens, 6,9% com atividades agrícolas e 1,0% com construções rurais, não atendendo ao que estabelece o Código Florestal Brasileiro. Neste caso, verificou-se a necessidade de revegetar estas áreas das APPs com espécies nativas da região.

Os critérios e as metodologias adotados para este estudo, mostraram-se adequados ao objetivo proposto. Entretanto, sugere-se que outros critérios também sejam empregados na análise para o aprimoramento desta metodologia, como: sociais, econômicos e culturais da comunidade.

O macrozoneamento agroambiental possibilitou identificar que esta bacia apresenta um bom potencial agrícola, considerando que 37,9% de sua área é agricultável. No entanto, 45,2% de sua área é ocupada por terras que devem ser destinadas à conservação ambiental, restando 14,9% para uso com pastagem ou silvicultura, e apenas 1,4% de áreas adequadas à ocupação urbana. O macrozoneamento agroambiental faz parte do processo de planejamento ambiental da bacia e devemos lembrar que este processo deve ser encarado como um processo contínuo, que deve ser instituído pelo município. Objetivos e diretrizes devem ser formulados e constantemente revisados, e é de extrema importância a participação de todos os atores sociais envolvidos neste processo.

Este estudo possibilitou a integração dos dados do meio físico, com os aspectos legais e as características da paisagem na avaliação da adequação de uso das terras e do macrozoneamento agroambiental da bacia. Estas propostas de adequação de uso e de macrozoneamento são subsídios fundamentais ao processo de revitalização da bacia do ribeirão Guaratinguetá e que conduzirão ao seu desenvolvimento sustentável.

5.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, M. C. de. *Como implementar o Plano Diretor***.** Disponível em: <http://legislaoplanodiretor.blogspot.com/2008/04/como-implementar-o-plano-diretor.html> Acesso em: 23. jan. 2011.

ATTANASIO, C. M., RODRIGUES, R. R., GANDOLFI, S., NAVE, A. G., *Adequação ambiental de propriedades rurais recuperação de áreas degradadas e restauração de matas ciliares*. Piracicaba, 2006, ESALQ. 65p.

CALHAU, F. R. P.. *Capacidade de uso das terras e recomendações agropecuárias: estudo de caso.* Campinas: UNICAMP, 2005, 68p. Tese Doutorado.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Metodologia simplificada de zoneamento Agroflorestal,* Rio Branco: Embrapa Acre. (circular técnica 35) 2000, 19p.

GRECCHI, R. C. *Zoneamento geoambiental da região de Piracicaba - SP, com auxílio de geoprocessamento.* Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil), Universidade de São Paulo. São Carlos, 1998. 132p.

LIMA, W. P. *Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas*. 1996. Piracicaba. 315 p.

LIMA, W. P. A *Microbacia e o Desenvolvimento Sustentável. dez/l998 – jan/l999.* Ação Ambiental. Ano I – Número 3, p. 20 – 22.

LIMA, W. P. 2003. *Relações hidrológicas em matas ciliares.* In: Henry, R.(Ed.). Ecótonos nas Interfaces dos Ecossistemas Aquáticos. São Carlos: Rima Editora, p. 301-312.

LAGROTTI, Carlos Alberto Arantes. *Planejamento Agro-ambiental do município de Santo Antonio do Jardim – SP: Estudo de caso na Microbacia Hidrográfica do Córrego do Jardim.* 138p. Tese (Doutorado em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável)- Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

MENEZES, M. D. de; CURI, N.; MARQUES, J. J.; MELLO, C. R. de; ARAÚJO, A. R. de. *Levantamento pedológico e sistema de informações geográficas na avaliação do uso das terras em sub-bacia hidrográfica de Minas Gerais.* Ciênc. agrotec., Lavras, v. 33, n. 6, p. 1544-1553, nov./dez., 2009.

MILLIKAN, B.; DEL PRETTE, M. E. Seminário: *Avaliação da metodologia do Zoneamento Ecológico-Econômico para a Amazônia Legal (Documento base para discussão).* Manaus: Ministério do Meio Ambiente, 2000.

MURAMOTO, J. et al. *Adequação do uso das terras de Piracicaba (SP).* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia. Resumos. Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. p.405-6.

OLIVEIRA, R. C. *Zoneamento Ambiental como subsídio ao planejamento no uso da terra do município de Corumbataí-SP*. 2003. 220p. (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), UNESP - Rio Claro, Rio Claro. 2003.

RANIERI, V. E. L. et al. *O zoneamento ambiental como instrumento de política e gestão ambiental.* In: Evaldo Luiz Gaeta Espíndola; Edson Wendland. (Org.). PPG-SEA: *Trajetórias e perspectivas de um curso multidisciplinar.* São Carlos: Rima, 2005. v.4, p. 109-136.

ROCHA, O.; PIRES, J.S.R. E SANTOS; J. E.. 2000. *A Bacia Hidrográfica Como Unidade de Estudo e Planejamento.* In: Espíndola, E. L. G.; Silva, J. S. V.; Marinelli, C. E.; Abdon, M. M. *A Bacia Hidrográfica do rio Monjolinho: Uma Abordagem Ecossistêmica e a Visão Interdisciplinar.* São Carlos: Editora Rima. cap 1, p. 1 – 16.

RODRIGUES, R. R.; NAVE, A. G. 2004. *Heterogeneidade florística das matas ciliares.* In: R. R. Rodrigues e H. F.Leitão-Filho (Eds.). *Matas ciliares: conservação e recuperação.* EDUSP/FAPESP 3 ed.. p. 45-71.

SANTOS, M. R. R. dos. *Critérios para análise do zoneamento ambiental como instrumento de planejamento e ordenamento territorial.* São Carlos: USP, 2010, 96p. Dissertação de Mestrado.

SILVA, J. dos S. V. da. *Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental – Estudo de caso: bacia hidrográfica do alto rio Taquari MS/MT.* Campinas: UNICAMP, 2003, 307p. Tese Doutorado.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. nov. / dez. 2000. Sub-Bacias Hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e gestão sustentáveis das atividades rurais. Informe agropecuário. Belo Horizonte, v.21, nº 207, p. 15-20.

ZAKIA, M. J. B., SANTOS, J. D. dos, LIMA, W. de P., *Plano de manejo sustentável de plantações florestais – Documento elaborado como parte integrante do Plano Diretor de ordenamento territorial do Município de Joanópolis-SP*. Joanópolis, 2008. PMJ. 9p.

ANEXO 1

Risco de erosão

Alguns solos são mais susceptíveis aos processos erosivos que outros, mesmo sob condições idênticas de declividade, de cobertura vegetal e de práticas de manejo. Essa maior ou menor vulnerabilidade ou suscetibilidade do solo à erosão é denominada erodibilidade do solo, sendo, um dado obtido a partir da natureza do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

A limitação ao uso devida ao risco de erosão foi determinada em função da erodibilidade do solo e da classe de declividade em que o mesmo se encontra. De acordo com Giboshi (1999), foram estabelecidos os graus de limitação ao uso devido à erodibilidade do solo, apresentados na tabela 3.

Tabela 1 – Grau de limitação ao uso devido à erodibilidade do solo e classes de declive (adaptado de GIBOSHI, 1999).

Classes de declive	**Grau de limitação devido à erodibilidade ($t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$)**				
	0 - nulo (0 a 0,005)	**1 - ligeiro (0,005 a 0,020)**	**2 - moderado (0,020 a 0,030)**	**3 - forte (0,030 a 0,040)**	**4 - muito forte (> 0,040)**
A (0 – 3%)	0	1	1	2	3
B (3 – 6%)	1	1	2	3	4
C (6 – 9%)	1	2	3	4	4
D (9 – 12%)	2	3	3	4	4
E (12 – 18%)	3	4	4	4	4
F (18 – 25%)	4	4	4	4	4
G (> 25%)	4	4	4	4	4

Utilizando as informações de Giboshi (1999), e a referencias de erodibilidade dos solos (MANNIGEL et al., 2002 e SILVA; ALVARES, 2005) da área da bacia, foi possível determinar a limitação de erodibilidade para estes solos.

Tabela 2 – Grau de limitação ao uso devido à erodibilidade dos solos da bacia hidrográfica do ribeirão Guaratinguetá (SP).

DESCRIÇÃO	Símbolo	K* $t.ha.h.mm^{-1}.ha^{-1}.MJ^{-1}$	Grau de limitação
Cambissolos Háplicos	CX	0,02500\2	2 – moderado
Cambissolos Húmicos	CH	0,04330\1	4 – muito forte
Gleissolos Melânicos	GM	0,00102\2	0 – nulo
Latossolos Amarelos	LA	0,05700\1	4 – muito forte
Latossolos Vermelho-Amarelos	LVA	0,01750\2	1 – ligeiro
Neossolo Flúvico	RU	0,00101\2	0 - nulo

*Fonte: Interpretado conforme tabela de \1Mannigel et al. (2002) e \2Silva e Alvares (2005).

Pedregosidade/rochosidade

A pedregosidade e a rochosidade causam impedimentos à mecanização, além de causar danos aos implementos agrícolas e diminuir o volume de terra explorado pelas raízes, com repercussão na quantidade de nutrientes e água disponível por unidade de volume de solo e, especialmente no caso das rochas, diminuição do espaço útil para o desenvolvimento da cultura (OLIVEIRA; SOSA, 1995).

Neste levantamento, para a pedregosidade e rochosidade foram considerados os tamanhos e naturezas de pedras conforme Lepsch et al. (1991) que são as seguintes:

a) Fragmentos grosseiros: cascalho (diâmetro médio entre 0,2 e 2 cm) e pedras (diâmetro médio entre 2 a 20 cm);
b) Matacões: fragmentos rochosos com diâmetro médio superior a 20 cm;
c) Afloramento rochoso: rochas fixas aflorando na superfície.

O grau de restrição ao uso do solo apresentado pela pedregosidade foi determinado em função da quantidade de fragmentos grosseiros em relação à massa do solo (Tabela 3). Já, para a rochosidade, foram considerados a quantidade de matacões e afloramentos rochosos (Tabela 4).

Tabela 3 – Grau de limitação ao uso do solo devido à pedregosidade em função da porcentagem de fragmentos grosseiros em relação à massa de solo (LEPSCH et al.,1991).

Grau de limitação	Quantidade de fragmentos grosseiros em relação à massa do solo (%)
0: nulo	Sem fragmentos
1: ligeiro	< 15
2: moderado	15 a 50
3: forte	50 a 75
4: muito forte	> 75

Tabela 4 – Grau de limitação ao uso do solo devido à rochosidade em função da porcentagem de matacões e afloramentos rochosos em relação à massa do solo (LEPSCH et al.,1991).

Grau de limitação	Quantidade de matacões e/ou afloramentos rochosos em relação à massa do solo (%)
0: nulo	Sem rochas
1: ligeiro	< 1
2: moderado	1 a 10
3: forte	10 a 50
4: muito forte	> 50

Restrição à mecanização

A mecanização pode ser efetuada sem riscos até uma declividade de 16-18% para cultivo em nível. Acima desse valor, o uso de máquinas agrícolas é considerado inadequado, pois estas trabalham no sentido do declive, contribuindo muito, dessa forma, para a erosão do solo (GIBOSHI, 1999). Os graus de limitação devido à mecanização foram determinados considerando a declividade, o risco de inundação, a pedregosidade e a atividade da argila.

Tabela 5 – Grau de limitação à mecanização do solo em função da classe de declividade, risco de inundação e/ou pedregosidade (LOMBARDI NETO, 1997, citado por GIBOSHI, 1999).

Grau de limitação	Classe de declividade	Risco de inundação e/ou pedregosidade
0: nulo	A (0 a 3%)	Nulo
1: ligeiro	B (3 a 6%)	Ligeiro
2: moderado	C (6 a 9%)	Moderado
3: forte	D (9 a 12%) E (12 a 18%)	Forte
4: muito forte	F (18 a 25%) G (>25%)	Muito forte

Risco de geada

O grau de limitação ao uso do solo devido ao risco de geada refere-se a locais onde existe a possibilidade de ocorrência de geadas que, devido à sua intensidade, podem influenciar na escolha dos cultivos (Tabela 6). A posição do solo no relevo e as classes de declividade são fatores importantes para determinar o grau de restrição ao uso do solo, apresentado por este fator limitante (Giboshi, 1999).

Tabela 6 – Grau de limitação devido ao risco de geada em função da posição no relevo[\1].

Grau de limitação	Posição no relevo
0 – nulo	Terço superior de encostas e de topo de serras com declives superiores a 6%
1 – ligeiro	Terço superior de encostas e serras com declives superiores a 6%
2 – moderado	Terço inferior das encostas com declives entre 3 e 6%
3 – forte	Planícies aluviais com declives não superiores a 3%

[\1] Comunicação pessoal do Dr. Ângelo Paes de Camargo em 17/11/98 do Centro de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agronômico de Campinas – IAC, citada por Giboshi (1999).

Risco de inundação

O risco de inundação é indicado pela frequência e pela duração usual com que ocorre. A frequência e a duração das inundações consideradas neste trabalho são as mesmas consideradas por Lepsch et al. (1991) e estão relacionadas a seguir:

Frequência:

a) Ocasionais: com mais cinco anos de recorrência provável;
b) Frequentes: com recorrência provável entre um e cinco anos;
c) Muito frequentes ou anuais: ocorrendo sistematicamente todo ano, repetindo-se uma ou mais vezes nas várias estações do ano.

Duração:

a) Curtas: menos de dois dias;
b) Médias: entre dois e trinta dias;
c) Longas: mais de trinta dias.

A análise da combinação da frequência e da duração das inundações foi utilizada para determinar os graus de limitação devido a este fator.

Tabela 7 – Grau de limitação ao uso do solo devido ao risco de inundação em função da duração e frequência da inundação (LEPSCH et al., 1991 e OLIVEIRA E SOSA, 1995).

Grau de limitação	Duração	Frequência
0 – Nulo	Curta	Ocasional
1 – Ligeiro	Média Curta	Ocasional Frequente
2 – Moderado	Média Curta	Frequente Muito Frequente
3 – Forte	Longa Média	Ocasional Frequentes
4 – Muito forte	Longa	Muito frequentes

Profundidade efetiva

Refere-se à espessura máxima do solo em que as raízes não encontram impedimento físico para penetrar livremente, facilitando a fixação da planta e servindo como meio para a absorção de água e nutrientes (LEPSCH et al., 1991). Na tabela 8 a seguir são apresentadas as classes de profundidade efetiva consideradas neste trabalho.

Tabela 8 – Graus de limitação devido à profundidade efetiva (Lepsch et al., 1991).

Grau de limitação	Classe de profundidade efetiva	Profundidade (m)
0: nulo	Muito profundo	Mais de 2,00
1: ligeiro	Profundo	1,00 a 2,00
2: moderado	Moderadamente profundo	0,50 a 1,00
3: forte	Raso	0,25 a 0,50
4: muito forte	Muito raso	Menos de 0,25

Disponibilidade de água

A capacidade de armazenamento de água no solo está diretamente relacionada com a granulometria do espaço poroso, que depende de várias características do solo, como a textura, a estrutura, a densidade, a matéria orgânica e a profundidade (OLIVEIRA e BERG, 1985). Os graus de limitação devido à disponibilidade de água foram determinados considerando a textura do solo a sua profundidade e a deficiência hídrica anual. As regras para determinar o grau de limitação em relação à disponibilidade de água foram modificadas, utilizando a mesma metodologia adotada por PEREIRA (2002). O autor calculou a água disponível utilizando a equação de ARRUDA et al. (1987), e, a partir de valores de água disponível (até a profundidade de 100 cm), obtidos para diferentes percentuais de soma das frações “silte e argila”, estabeleceu os graus de limitação de acordo com os grupamentos texturais do solo: arenosa, média, argilosa e muito argilosa (Tabela 9).

Tabela 9 – Graus de limitação devido à disponibilidade de água (PEREIRA, 2002).

%Silte + % Argila	Grupamentos texturais do solo		
	Textura arenosa	Textura média e Textura argilosa	Textura muito argilosa
	Grau de limitação		
< 5	4	-	-
5 – 10	3	-	-
10 – 15	2	-	-
15 – 25	1	-	-
25 – 30	0	-	-
30 – 60	-	0	-
60 –75	-	0	0
75 – 85	-	1	1
85 – 90	-	2	2
90 –95	-	3	3
> 95	-	4	4

Grau de limitação: 0 = nulo 1 = ligeiro 2 = moderado 3 = forte 4 = muito forte

Drenagem interna ou excesso de água

O excesso de água no solo por tempo prolongado constitui um importante fator limitante ao uso da terra, pois os solos mal drenados apresentam deficiência de oxigênio e, como consequência, inibição do crescimento das raízes. Para determinar os graus de limitação devido à drenagem interna ou excesso de água, neste estudo foram consideradas a presença ou não de lençol freático elevado e camadas pouco permeáveis no perfil do solo, pois diminuem consideravelmente o fluxo descendente da água, conforme (OLIVEIRA e SOSA, 1995), apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 – Grau de limitação devido à drenagem interna ou excesso de água (OLIVEIRA e SOSA, 1995).

Grau de limitação	Classe de drenagem do solo[\1]
0: nulo	Excessiva a boa
1: ligeiro	Moderada
2: moderado	Imperfeita
3: forte	Mal drenada
4: muito forte	Muito mal drenada

[\1]Classe de drenagem segundo EMBRAPA (1999).

Disponibilidade de nutrientes

A quantidade de nutrientes disponíveis no solo é um fator de grande importância na determinação da capacidade de uso da terra. Oliveira e Berg (1985) relacionaram a saturação em bases (V%) com a capacidade de troca de cátions – CTC a $pH_{7,0}$ (T) para determinar os graus de limitação devido à disponibilidade de nutrientes. De acordo com estes autores, em dois solos com a mesma V%, o que tiver a T mais elevada apresenta maior reserva de bases. Também solos com T muito baixa, mesmo apresentando V% > 50, foram considerados como tendo forte limitação quanto à disponibilidade de nutrientes. Assim, a determinação do grau de limitação devido à disponibilidade de nutrientes foi feita como no trabalho de Oliveira e Berg (1985), que por ser quantitativa, torna consistente a classificação no sistema de capacidade de uso (Tabela 11).

Tabela 11 – Grau de limitação devido à disponibilidade de nutrientes em função da saturação de bases (V%) e da capacidade de troca de cátions – CTC (T), conforme Oliveira e Berg (1985).

T (e.mg 100g^{-1} TFSA)	**Faixas de saturação por bases (V%)**			
	50 - 100	25 – 50	10 – 25	0 – 10
> 5	0	1	3	4
3 – 5	1	2	3	4
2 – 3	2	2	4	4

Grau de limitação: 0 = nulo 1 = ligeiro 2 = moderado 3 = forte 4 = muito forte

Fixação de fósforo

Os solos das regiões tropicais são pobres em fósforo e, por esta razão, este é o elemento que frequentemente limita a produção agrícola nestas regiões. A determinação dos graus de limitação devido à fixação de fósforo foi feita com base no trabalho de Oliveira e Sosa (1995), que através da avaliação na textura do solo, cor e atração eletromagnética definiram os graus desta limitação (Tabela 12).

Tabela 12 – Graus de limitação referentes à fixação de fósforo. (OLIVEIRA E SOSA, 1995).

Grau de Limitação	Textura Superficial	Cor do Solo	Atração Eletromagnética
0: nulo	Arenosa Arenosa ****	*** Vermelho-escuro ou Vermelho-amarelo	Ausente
1: ligeiro	Média Argilosa ou muito argilosa	Vermelho-escuro Vermelho-amarelo	Pequena atração
2: moderado	Argilosa Muito argilosa	Vermelho Vermelho-escuro	Moderada atração
3: forte	Argilosa ou muito argilosa	Roxo	Forte atração
4: muito forte	Argilosa ou muito argilosa	Roxo	Muito forte atração

Fonte: Oliveira e Sosa (1995).
*** Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Regolíticos.
**** Textura superficial arenosa e subsuperficial média.

Toxicidade por alumínio

Este fator limitante refere-se às altas concentrações de alumínio trocável na camada subsuperficial do solo, apresentando problemas de toxidade para a maioria das plantas cultivadas (LEPSCH et al., 1991). Os graus de limitação devido à toxidade por alumínio foram determinados pela metodologia de Oliveira e Berg (1985), apresentados na tabela 13.

Tabela 13 – Graus de limitação devido à toxicidade por alumínio em função da capacidade de troca catiônica (T) e da saturação de alumínio (OLIVEIRA e BERG, 1985).

T (e.mg $100g^{-1}$ TFSA)	Faixas de saturação de alumínio (%)				
	0 - 10	10 - 30	30 - 50	50 - 70	70 – 100
5 – 10	0	1	2	3	4
1 – 5	0	1	1	2	3

Grau de limitação: 0 = nulo 1 = ligeiro 2 = moderado 3 = forte 4 = muito forte

ANEXO 2

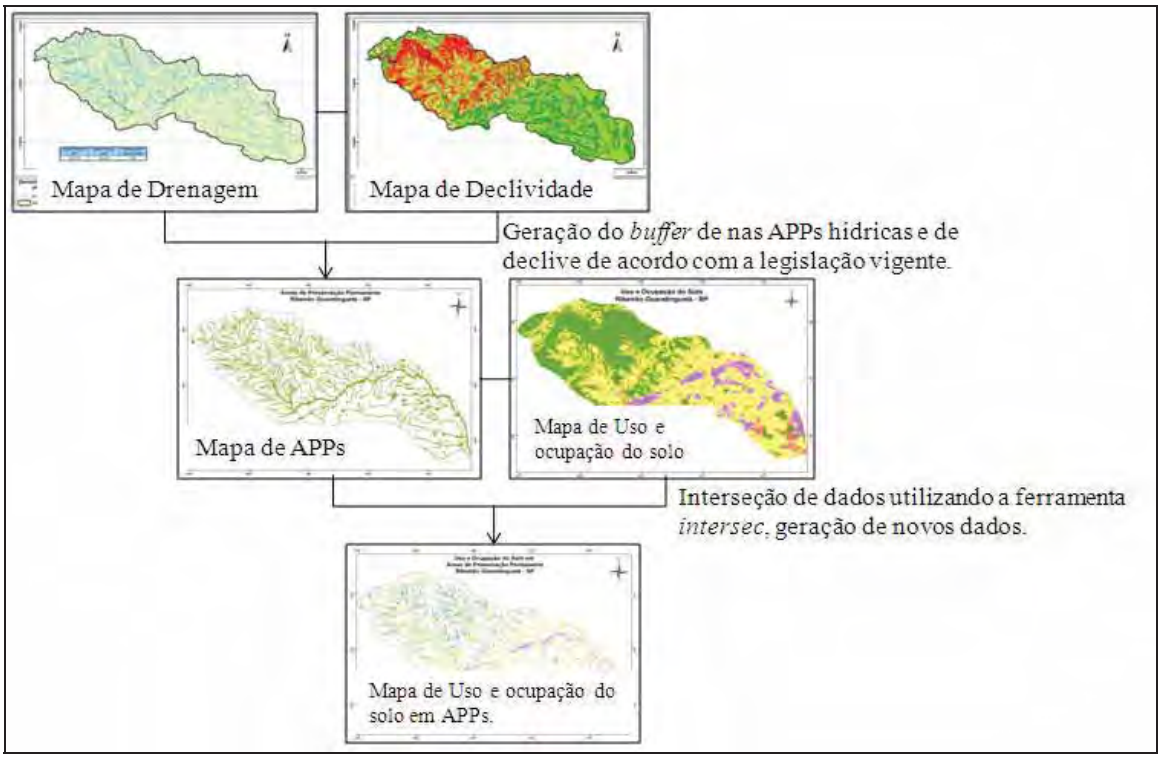

Figura 1 – Fluxograma da metodologia utilizada no capítulo 3.

ANEXO 3

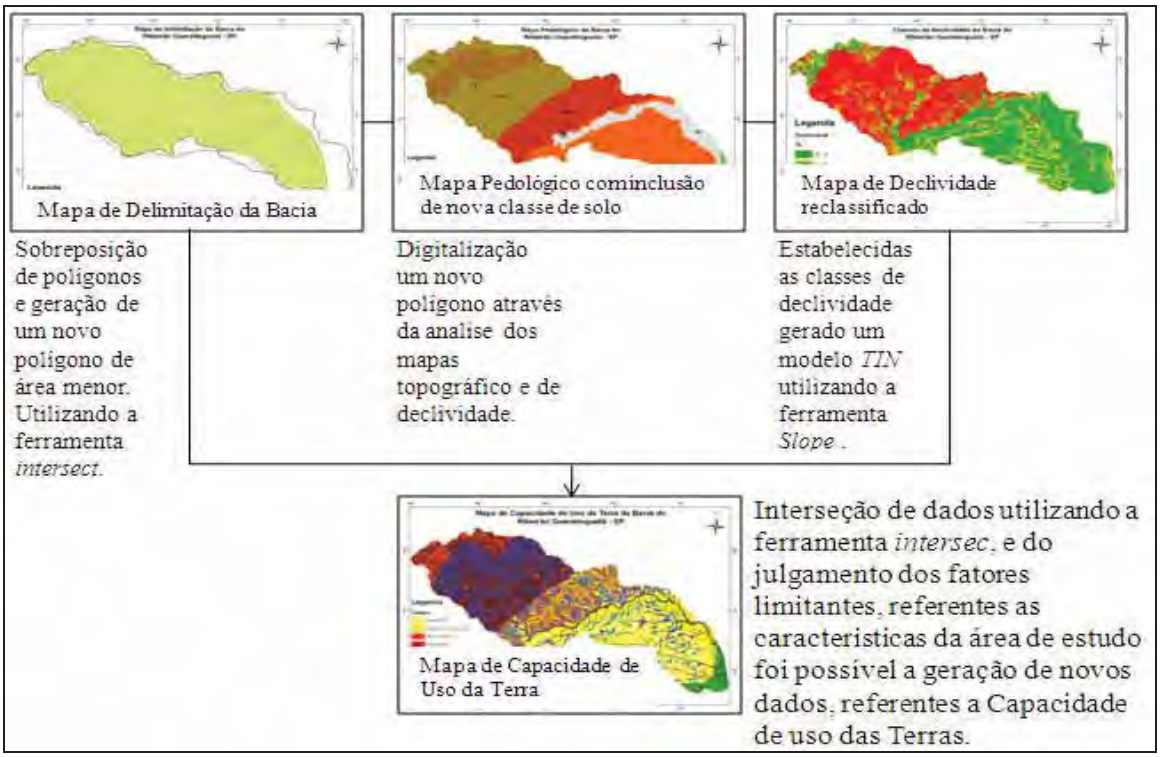

Figura 1 – Fluxograma da metodologia utilizada no capítulo 4.

ANEXO 4

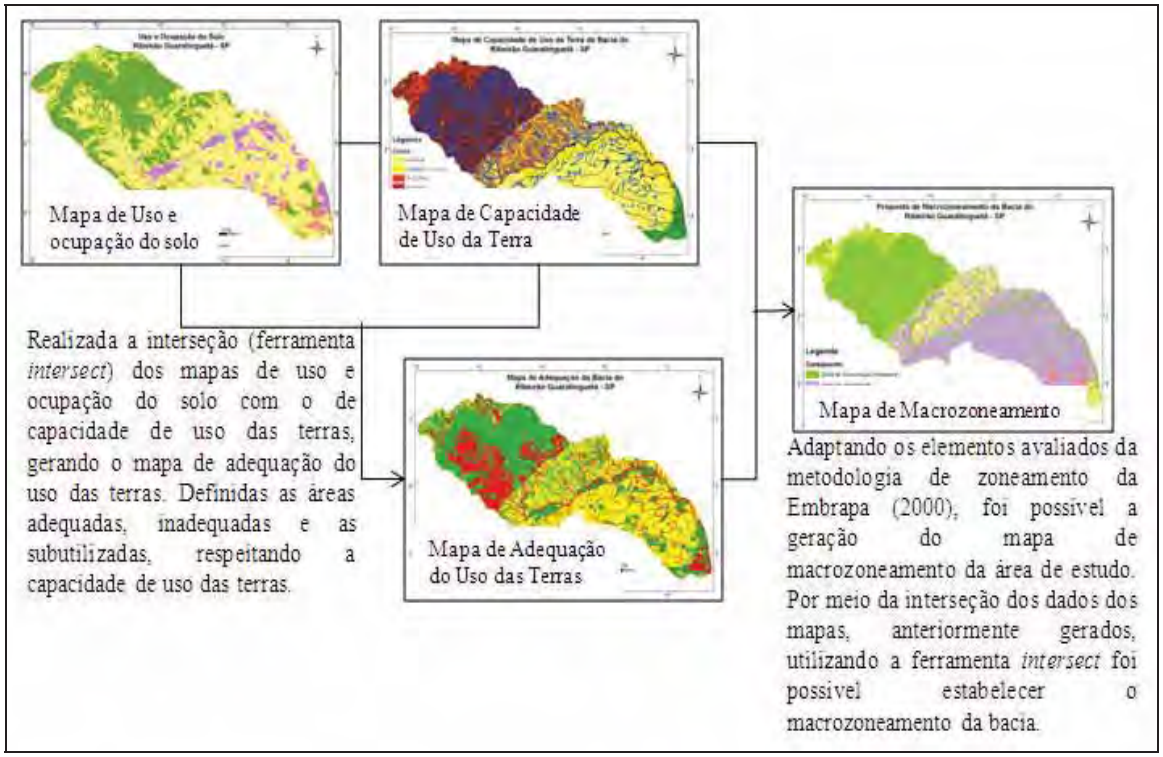

Figura 1 – Fluxograma da metodologia utilizada no capítulo 5.