



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

# Ciências Ambientais

**ELFANY REIS DO NASCIMENTO LOPES**

**ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO: DIRETRIZES, PARÂMETROS E  
TÉCNICAS PARA A GESTÃO AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Sorocaba - SP  
2018

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

ciências  
ambientais



unesp  
Sorocaba

**ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO: DIRETRIZES, PARÂMETROS E  
TÉCNICAS PARA A GESTÃO AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Tese apresentada como requisito para a defesa do curso de Doutorado em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Roberto Wagner Lourenço

Co-orientador: Dr. José Luiz Albuquerque Filho

Sorocaba - SP  
2018

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Unesp  
Instituto de Ciência e Tecnologia – Câmpus de Sorocaba

Lopes, Elfany Reis do Nascimento.  
Zoneamento Ecológico-Econômico: diretrizes, parâmetros e técnicas para a gestão ambiental de bacias hidrográficas / Elfany Reis do Nascimento Lopes, 2018.  
173 f.: il.

Orientador: Roberto Wagner Lourenço.  
Coorientador: José Luiz Albuquerque Filho.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba), 2018.

1. Geoprocessamento. 2. Sensoriamento remoto. 3. Bacias hidrográficas. I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba). II. Título.

Bibliotecário responsável: Bruna B. Guimarães – CRB 8/8855



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Sorocaba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO: DIRETRIZES, PARÂMETROS E TÉCNICAS PARA A GESTÃO AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

**AUTOR: ELFANY REIS DO NASCIMENTO LOPES**  
**ORIENTADOR: ROBERTO WAGNER LOURENÇO**  
**COORIENTADOR: JOSÉ LUIZ ALBUQUERQUE FILHO**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIAS AMBIENTAIS, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ROBERTO WAGNER LOURENÇO  
Engenharia Ambiental / UNESP - ICT Sorocaba

Prof. Dr. DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA  
Departamento de Engenharia Ambiental / Universidade de Sorocaba (UNISO)

Prof. Dr. VIDAL DIAS DA MOTA JUNIOR  
Engenharia Ambiental / Universidade de Sorocaba (UNISO)

Profª. Drª. KELLY CRISTINA TONELLO  
Departamento de Engenharia Florestal / Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

Prof. Dr. ANTONIO CESAR GERMANO MARTINS  
Engenharia Ambiental / Unesp - ICT - Sorocaba

Sorocaba, 05 de julho de 2018

## *Epígrafe*

### Passarinhos - Emicida

“...Em colapso o planeta gira, tanta mentira  
Aumenta a ira de quem sofre mudo  
A página vira, o são, delira, então a gente pira

...

Competição em vão, que ninguém vence  
Quando pessoas viram coisas, cabeças viram degraus

...

No pé que as coisas vão, Jão  
Doidera, daqui a pouco, resta madeira nem pro caixão  
Era neblina, hoje é poluição  
Asfalto quente, queima os pés no chão  
Carros em profusão, confusão  
Água em escassez, bem na nossa vez  
Assim não resta nem as baratas  
Injustos fazem leis e o que resta pro céu?  
Escolher qual veneno te mata

...

E no meio disso tudo tamo tipo  
Passarinhos  
Soltos a voar dispostos  
A achar um ninho  
Nem que seja no peito um do outro...”

*Dedico este trabalho à minha mãe, que exclusivamente e inteiramente se dedicou à minha formação e não mediu esforços para que este estudo fosse concluído com êxito e qualidade. À ela e para ela, que foi o meu sustento e ao mesmo tempo foi muito mais que tudo isso, continuamos na construção dos nossos sonhos...!*

## Agradecimentos

Agradeço a Deus, pela honra e glória de conquistar os meus sonhos. Ele que me guia e me coloca no caminho do bem, me conduzindo ao meu melhor todos dias que acordo.

À minha família, fundamental pelo que sou e até onde cheguei. Minha mãe Fau, razão pelo qual busco o melhor e que me inspira pela sua garra, dedicação e compromisso, com caráter e profissionalismo em toda a vida. Chegamos até o final e conquistaremos muito mais.

Ao meus orientadores do Doutorado. Estou convicto de que ofereci o meu melhor e sei que em nenhum momento exitem em me proporcionar o melhor da formação pessoal, ética, moral e acadêmica. Ao Roberto Wagner Lourenço e ao José Luiz Albuquerque Filho os sinceros agradecimentos.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Geoprocessamento e Matemática Ambiental, sempre os tratei como família. Agradeço a todos que estão e que passaram por ele durante o curso. Recebam os meus agradecimentos pela convivência e amor (Jocy, Jomil, Amanda, Rita, Bruna, Bruno, Fábio, Zé, Fernando, Bruno Yamanaka, Lucas, Gregory, Mariana, Tuty e Giovana).

Aos amigos que fiz e compartilhei boas lembranças, além dos já citados, os amigos de toda a vida (Lu, Carlos, Angélica, Danilo, Diana, Ane, Wescley, Alessandra e Fabiano).

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e aos profissionais que se empenham em conduzir o Instituto de Ciência e Tecnologia da UNESP Sorocaba e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, especialmente a Rosângela, o Carlos Reche, LÍlian, Danilo, Suzan e Letícia.

À banca examinadora da qualificação e de defesa do doutorado que, sendo os meus mestres, exercem com dedicação a sua função e me encaminham com análises e sugestões para a melhoria e crescimento do meu potencial como educador, pesquisador e extensionista.

Pela dura jornada que venho trilhando, muitas outras pessoas foram e continuam sendo importante. A lista é grande, assim como os meus agradecimentos. Espero poder sempre estar disponível para auxiliá-los na vida e na jornada diária.

Obrigado pelo tempo maravilhoso em São Paulo, o qual vivenci, aprendi, reaprendi e fui tantas vezes resiliente para alcançar esta etapa.

Sou grato pela beleza de ser unespiano para sempre!

## RESUMO

O Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) é um instrumento da política ambiental que visa disciplinar o uso da terra e garantir o uso sustentável por meio da compatibilização da conservação e do desenvolvimento. A bacia hidrográfica, ao ser visualizada como uma unidade de planejamento e gestão ambiental, deve ter seus atributos ambientais analisados, visando a coerência entre o uso e conservação. Na bacia hidrográfica do rio Una, a relação entre homem e natureza tem revelado uma alta demanda de recursos naturais e suas perspectivas de uso, frente a conservação dos recursos hídricos, merece destaque pela sua posição estratégica em uma região metropolitana com alta densidade urbana, industrial e ao mesmo tempo com importância hídrica. Objetivou-se nesta tese aprimorar o processo de elaboração ZEE para bacias hidrográficas, através do desenvolvimento de um conjunto de diretrizes metodológicas e da proposição de uma metodologia de integração de dados espaciais, utilizando geoprocessamento e sensoriamento remoto, em ambiente SIG. Foram delimitadas diretrizes metodológicas, a partir da síntese dos diferentes estudos de ZEEs em bacias hidrográficas e da análise multivariada de agrupamento, através da avaliação de parâmetros da paisagem, morfometria, físicos, bióticos e socioambiental. Para o desenvolvimento da proposta de ZEE para a bacia do rio Una realizou-se o mapeamento do uso da terra e florestas apresentou treze classes com maior predomínio de culturas agrícolas temporárias (36,33%) e floresta ombrófila densa (37,05%). O indicador de degradação foi desenvolvido através da combinação do índice de transformação antrópica e do índice de circularidade, utilizando inferência *fuzzy* e geoprocessamento. A bacia foi classificada entre média a alta degradação, sendo a sub-bacia 8 com a degradação mais elevada. A modelagem ambiental avaliou os parâmetros hidrológicos, morfométricos e pedológicos, a partir do modelo digital do terreno e de coleta de solos e análise granulométrica pelo método da pipeta. A bacia estende-se por 96 km<sup>2</sup> com forma irregular e alongada, altitude média de 937 metros e cota máxima de 1175 metros. A hidrografia apresentou cinco ordens e padrão dendrítico. O relevo é fortemente ondulado, com declividade média de 18%. Os solos podem ser latossolos ou argissolos, com tendência a textura arenosa e menos siltosa, e matéria orgânica variável entre 10 a 60%. A avaliação dos fragmentos florestais foi realizada por métricas da paisagem, índices vegetais de vigor, eficiência fotossintética e fluxo de carbono. Há 197 fragmentos com alto efeito de borda, níveis elevados de biomassa, produção fotossintética moderada e um fluxo de carbono também moderado associados a áreas de maior altitude, declivosas e com curso d'água contida em seu interior. As características socioambientais foram avaliadas pela triagem de dados secundários sobre demografia, renda, educação e saneamento ambiental do censo demográfico do IBGE e analisados por meio da correlação de Pearson, da regressão linear múltipla e do indicador de qualidade socioambiental. A taxa de domicílio, de residentes e de saneamento ambiental apresentaram-se maiores na zona urbana. Cerca de 86% da população residente na bacia encontram-se alfabetizadas, enquanto os percentuais de acesso a rede de água e esgoto na zona rural é precário. A integração dos dados culminou no desenvolvimento da metodologia de integração analítica-agregativa sendo aplicada na proposta de ZEE da bacia do rio Una. A metodologia consiste na delimitação do cenário socioambiental da bacia, seguida da delimitação das zonas de manejo. Foram delimitadas oito zonas de manejo: Zona Residencial Consolidada, Zona Residencial Não-consolidada, Zona de Conservação, Zona de Recuperação, Zona de Monitoramento, Zona de Preservação Permanente, Zona Agrícola Primária e Zona Agrícola Secundária. Esta pesquisa contribui para a elaboração de propostas de zoneamento que atendem ao princípio da utilidade e simplicidade preconizada pelo Decreto 4.297/2002 e oferece aos pesquisadores e gestores diretrizes técnicas, e procedimentos metodológicos para a gestão ambiental de bacias hidrográficas.

**Palavras-chaves:** Geoprocessamento. Sensoriamento Remoto. Planejamento Ambiental. Recursos Hídricos.

## ABSTRACT

The Ecological-Economic Zoning (EEZ) is an instrument of environmental policy that aims to discipline land use and ensure sustainable use through the compatibility of conservation and development. The river basin, when viewed as an environmental planning and management unit, should have its environmental attributes analyzed for consistency between use and conservation. In the river basin of the Una, the relation between man and nature has revealed a high demand of natural resources and its perspectives of use in front of the conservation of the water resources deserves to be emphasized by its strategic position in a metropolitan region with high industrial density and urban at the same time with water importance. The objective of this thesis was to improve the process of elaboration of EEZ for river basins, through the development of a set of methodological guidelines and the proposal of a methodology of integration of spatial data, using geoprocessing and remote sensing in GIS. Methodological guidelines were defined based on the synthesis of the different studies of EEZs in hydrographic basins and the multivariate cluster analysis, through the evaluation of landscape, morphometry, physical, biotic and socioenvironmental parameters. For the development of the EEZ proposal for the Una river basin was carried out the mapping of land use presented thirteen classes with higher prevalence of temporary agricultural crops (36.33%) and dense ombrophilous forest (37.05%). The degradation indicator was developed by combining the anthropic transformation index and the circularity index using fuzzy inference and geoprocessing. The basin was classified as medium to high degradation with sub-basin 8 having the highest degradation. The environmental modeling evaluated the hydrological, morphometric and pedological parameters from the digital terrain model and soil collection and particle size analysis by the pipette method. The basin extends for 96 km<sup>2</sup> with irregular and elongated form, average altitude of 937 meters and maximum height of 1175 meters. Hydrography presented five orders and dendritic pattern. The relief is strongly undulating with an average slope of 18%. The soils may be latosols or argisols with a tendency to sandy texture and less silt and organic matter varying between 10 and 60%. The evaluation of forest fragments was performed by landscape metrics, plant vigor indexes, photosynthetic efficiency and carbon flux. There are 197 fragments with a high edge effect, high levels of biomass, moderate photosynthetic production and a moderate carbon flux associated with areas of higher altitude, slope and water course contained within. The socioenvironmental characteristics were evaluated by screening secondary data on demography, income, education and environmental sanitation from the IBGE demographic census and analyzed by Pearson correlation, multiple linear regression and socioenvironmental quality indicator. The rate of residence, residents and environmental sanitation were higher in the urban area. About 86% of the population living in the basin are literate, while the percentage of access to water and sewage in rural areas is precarious. The integration of the data culminated in the development of the analytical-aggregation integration methodology being applied in the EEZ proposal of the Una river basin. The methodology consists of the delimitation of the socioenvironmental scenario of the basin followed by the delimitation of the management zones. Eight management zones were delineated: Consolidated Residential Zone, Non-Consolidated Residential Zone, Conservation Zone, Recovery Zone, Monitoring Zone, Permanent Preservation Zone, Primary Agricultural Zone and Secondary Agricultural Zone. This research contributes to the elaboration of zoning proposals that comply with the principle of utility and simplicity advocated by Decree 4.297/2002 and offers researchers and managers technical guidelines and methodological procedures for the environmental management of river basins.

**Keywords:** Geoprocessing. Remote sensing. Environmental planning. Water resources.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### Capítulo I

Figura 1. 1 - Localização da bacia do Una, Ibiúna, São Paulo.....	22
---	----

### Capítulo II

Figura 2. 1 - Marco Legal do Zoneamento Ecológico-Econômico no Brasil. ....	26
Figura 2. 2 - Qualificação dos periódicos.....	41
Figura 2. 3 - Parâmetros avaliados no eixo da paisagem. ....	42
Figura 2. 4 - Parâmetros avaliados no eixo morfométrico. ....	42
Figura 2. 5 - Parâmetros avaliados no meio físico. ....	43
Figura 2. 6 - Parâmetros avaliados no Eixo biótico. ....	44
Figura 2. 7 - Parâmetros avaliados no eixo socioambiental. ....	45
Figura 2. 8 - Metodologias e técnicas de integração dos parâmetros. ....	45
Figura 2. 9 - Zonas de manejo estabelecidas nos zoneamentos. ....	46
Figura 2. 10 - Dendograma de dissimilaridade dos ZEE de bacias hidrográficas.....	47

### Capítulo IV

Figura 4. 1 - Esquema metodológico do mapeamento do uso da terra.....	66
Figura 4. 2 - Funções de pertinência. ....	70
Figura 4. 3 - Esquema metodológico do desenvolvimento do IDBH.....	71
Figura 4. 4 - Base cartográfica da bacia hidrográfica do rio Una.....	72
Figura 4. 5 - Mapeamento do uso da terra.....	74
Figura 4. 6 - Cultivos temporários diversificados de couve (a esquerda) e de alface (a direita).....	75
Figura 4. 7 - Edificações rurais. ....	76
Figura 4. 8 - Pastagem.....	76
Figura 4. 9 - Silvicultura de Eucalipto e Pinus.....	76
Figura 4. 10 - Edificações urbanas. ....	77
Figura 4. 11 - Campos degradados.....	77
Figura 4. 12 - Rio Una (esquerda) e lago (direita). ....	78
Figura 4. 13 - Comunidade aluvial da bacia do rio Una.....	79
Figura 4. 14 - Floresta Ombrófila Densa Montana. ....	80
Figura 4. 15 - Distribuição espacial e percentual de áreas antrópicas e naturais. ....	81
Figura 4. 16 - Áreas de Preservação Permanente. ....	82
Figura 4. 17 - Conflitos ambientais em APPs. ....	83
Figura 4. 18 - IDBH da bacia do rio Una. ....	87

### Capítulo V

Figura 5. 1 - Hipsometria. ....	94
Figura 5. 2 - Relevo segundo os percentuais de declividade.....	95
Figura 5. 3 - Sombreamento do terreno.....	96
Figura 5. 4 - Orientação do terreno. ....	97
Figura 5. 5 - Ordem dos cursos d'água. ....	100
Figura 5. 6 - Perfil do curso principal. ....	100
Figura 5. 7 - Solos. ....	101
Figura 5. 8 - Textura e matéria orgânica dos solos. ....	103

**Capítulo VI**

Figura 6. 1 - Tamanho dos fragmentos florestais. ....	109
Figura 6. 2 - Relação entre o número de fragmentos florestais e as suas respectivas áreas das classes de tamanho. ....	110
Figura 6. 3 - Associação dos fragmentos florestais com a média hipsométrica. ....	111
Figura 6. 4 - Associação dos fragmentos florestais com a média de declividade. ....	112
Figura 6. 5 - Associação dos fragmentos florestais com a distância da hidrografia. ....	113
Figura 6. 6 - NDVI e histograma dos fragmentos florestais. ....	114
Figura 6. 7 - sPRI e histograma dos fragmentos florestais. ....	115
Figura 6. 8 - CO <sub>2</sub> FLUX e histograma dos fragmentos florestais. ....	116
Figura 6. 9 - Fragmentos florestais e seu quantitativo no fluxo de carbono. ....	117

**Capítulo VII**

Figura 7. 1 - Distribuição dos setores censitários na zona urbana e rural da bacia do Una. ....	121
Figura 7. 2 – Índice de Inserção Social. ....	127
Figura 7. 3 - Índice de Qualidade de Moradias. ....	128
Figura 7. 4 - Índice de Qualidade Socioambiental ....	129

**Capítulo VIII**

Figura 8. 1 - Esquema metodológico para obtenção do ZEE da bacia do rio Una. ....	134
Figura 8. 2 - Esquema metodológico para obtenção da zona de preservação permanente. ....	135
Figura 8. 3 - Esquema metodológico para obtenção da zona de monitoramento. ....	135
Figura 8. 4 - Esquema metodológico para obtenção da zona de recuperação. ....	136
Figura 8. 5 - Esquema metodológico para obtenção zona de conservação. ....	136
Figura 8. 6 - Esquema metodológico para obtenção da zona residencial consolidada. ....	137
Figura 8. 7 - Esquema metodológico para obtenção da zona residencial não-consolidada. ....	137
Figura 8. 8 - Esquema metodológico para obtenção da zona agrícola primária. ....	138
Figura 8. 9 - Esquema metodológico para obtenção da zona agrícola secundária. ....	138
Figura 8. 10 – Proposta de Zoneamento Ecológico-Econômico da bacia hidrográfica do rio Una. ...	142

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo II

Tabela 2. 1 - Princípios para a elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico.....	34
Tabela 2. 2 - Escalas de representação das propostas de Zoneamento Ecológico-Econômico.....	35

### Capítulo IV

Tabela 4. 1 - Especificações técnicas gerais dos satélites do sistema RapidEye.....	65
Tabela 4. 2 - Quantitativo da área territorial ocupada por cada unidade do uso da terra.....	73
Tabela 4. 3 - Quantitativo de APPs.....	82
Tabela 4. 4 - Quantitativo de atividades de uso da terra em APPs.....	84
Tabela 4. 5 - Índice de transformação antrópica da bacia do rio Una e de suas sub-bacias.....	84
Tabela 4. 6 - Índice de circularidade da bacia do rio Una e de suas sub-bacias.....	86
Tabela 4. 7 - Indicador de Exposição Antrópica da bacia do Una e de suas sub-bacias.....	89

### Capítulo V

Tabela 5. 1 - Classes de declividade.....	90
Tabela 5. 2 - Classes de orientação do terreno.....	90
Tabela 5. 3 - Características geométricas.....	91
Tabela 5. 4 - Características da rede de drenagem.....	92
Tabela 5. 5 - Quantificação das áreas hipsométricas.....	93
Tabela 5. 6 - Quantificação das áreas de relevo segundo os percentuais de declividade.....	95
Tabela 5. 7 - Quantificação das áreas e sua orientação no terreno.....	98
Tabela 5. 8 - Características geométricas e da rede de drenagem.....	99
Tabela 5. 9 - Comprimento das ordens de cursos d'água.....	99
Tabela 5. 10 - Percentuais das frações de argila, silte, areia total e matéria orgânica.....	102

### Capítulo VI

Tabela 6. 1 - Métricas da paisagem para classe de fragmentos e para os fragmentos utilizadas na análise.....	106
Tabela 6. 2 - Métricas da classe dos fragmentos florestais.....	108
Tabela 6. 3 - Métricas dos fragmentos florestais.....	108

### Capítulo VII

Tabela 7. 1 - Variáveis socioambientais analisadas e pesos atribuídos.....	122
Tabela 7. 2 - Classificação do IQSA.....	123
Tabela 7. 3 - Condições socioeconômicas.....	123
Tabela 7. 4 - Condições de saneamento ambiental.....	124
Tabela 7. 5 - Matriz de correlação linear das variáveis socioambientais.....	125

### Capítulo VIII

Tabela 8. 1 - Quantitativo das zonas de manejo da proposta de ZEE.....	143
Tabela 8. 2 - Quantitativo das zonas de manejo nas sub-bacias.....	144
Tabela 8. 3 - Caracterização das zonas de manejo do ZEE da bacia hidrográfica do rio Una.....	146

**LISTA DE QUADROS****Capítulo III**

Quadro 3. 1 - Parâmetros que compreendem o eixo da paisagem.....	56
Quadro 3. 2 - Parâmetros que compreendem o eixo morfométrico .....	56
Quadro 3. 3 - Parâmetros que compreendem o eixo do meio físico.....	57
Quadro 3. 4 - Parâmetros que compreendem o eixo do meio biótico .....	57
Quadro 3. 5 - Parâmetros que compreendem o eixo socioambiental .....	58
Quadro 3. 6 - Métodos e técnicas para auxílio na elaboração do ZEE.....	60

**Capítulo IV**

Quadro 4. 1 - Base de regras .....	70
------------------------------------	----

**Capítulo VIII**

Quadro 8. 1 - Parâmetros e variáveis analisadas na proposta de ZEE. ....	132
--	-----

## LISTA DE SIGLAS

ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico
SR	Sensoriamento Remoto
SIG	Sistema de Informações Geográficas
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê
APA	Área de Proteção Ambiental
CAPES	Coodenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior
CAR	Cadastro Ambiental Rural
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
MMA	Ministério do Meio Ambiente
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
PNGC	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
AMC	Análise multicritério
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
MME	Ministério das Minas e Energia
APPS	Áreas de Preservação Permanente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGC	Instituto Geográfico e Cartográfico
DATAGEO	Infraestrutura de dados espaciais ambientais do Estado de São Paulo
MDT	Modelo Digital de Elevação do Terreno
ITA	Índice de Transformação Antrópica
IDBH	Indicador de Exposição Antrópica de Bacias Hidrográficas
IC	Índice de Circularidade
SBRF	Sistema Baseado em Regras Fuzzy
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
V-LATE	Vector-based Landscape Analysis Tools Extension
TIN	Triangular Irregular Network
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
PRI	Photochemical Reflectance Index
SPRI	Photochemical Reflectance Index Rescheduled for Positive Value
CO2Flux	Fluxo de Carbono
IQSA	Índice de Qualidade Socioambiental
IQM	Índice de Qualidade das Moradias
IIS	Índice de Inserção Social

## SUMÁRIO

Resumo.....	viii
Abstract .....	ix
Lista de ilustrações.....	x
Lista de tabelas.....	xii
Lista de quadros .....	xiii
Lista de siglas.....	xiv

### **CAPÍTULO I**

Introdução .....	17
1.1 Objetivos .....	20
1.1.1 Objetivo geral.....	20
1.1.2 Objetivos específicos.....	21
1.2 Área de estudo.....	21

### **CAPÍTULO II**

Zoneamento Ecológico-Econômico no Brasil e suas suas características em bacias hidrográficas: o estado da arte.....	23
1. Métodos.....	23
2.1 Zoneamento Ecológico-Econômico no Brasil.....	24
2.1.1 Aspectos jurídicos que incidem sobre o ZEE.....	25
2.1.2 Nomenclatura do instrumento .....	29
2.1.3 Diretrizes metodológicas do ZEE .....	31
2.1.4 Metodologia e parâmetros para a elaboração das propostas de ZEE .....	32
2.1.5 Propostas finais de ZEE .....	33
2.2 Zoneamento Ecológico-Econômico em bacias hidrográficas .....	37
2.2.1 Caracterização dos estudos e pesquisas sobre ZEEs em bacias hidrográficas no Brasil.....	40
3. Notas resumidas sobre o ZEE no Brasil.....	48

### **CAPÍTULO III**

Diretrizes Metodológicas para o Zoneamento Ecológico-Econômico de bacias hidrográficas .....	50
1. Métodos.....	50
2. Resultados e discussão .....	50
2.1 Diretrizes metodológicas.....	50
2.1.1 Objetivo geral.....	51
2.1.2 Objetivos específicos.....	51
2.1.3 Princípios.....	52
2.2.3 Diretrizes gerais.....	52

### **CAPÍTULO IV**

Indicador de degradação para bacias hidrográficas baseado na caracterização da paisagem e inferência fuzzy .....	64
1. Métodos.....	64
2. Resultados e discussão .....	71

### **CAPÍTULO V**

Diagnóstico e caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Una .....	89
---	----

1. Métodos.....	89
2. Resultados e discussão .....	93
<b>CAPÍTULO VI</b>	
Avaliação de fragmentos florestais de mata atlântica na bacia hidrográfica do rio Una.....	105
1. Métodos.....	105
2. Resultados e discussão .....	108
<b>CAPÍTULO VII</b>	
Abordagem metodológica para a avaliação socioambiental da bacia hidrográfica do rio Una.....	120
1. Métodos.....	120
2. Resultados e discussão .....	123
<b>CAPÍTULO VIII</b>	
Metodologia de integração de dados espaciais para o Zoneamento Ecológico-Econômico em bacias hidrográficas.....	131
1. Métodos.....	131
2. Resultados e discussão .....	139
<b>CAPÍTULO IX</b>	
Conclusão.....	157
Referências.....	159

---

## **CAPÍTULO I**

### **Introdução**

---

O estudo de cenários futuros para a conservação e a organização do território se constitui como um elemento do planejamento ambiental que analisa a urbanização descontrolada, a produção agrícola, a desigualdade social e a destruição dos recursos naturais, a fim de reduzir quadros conflitantes que poderiam levar à instabilidade dos ecossistemas e da oferta de recursos (HALL; DAY JR., 2009; SOUZA et al., 2011; AUSTIN et al., 2013).

Com o agravamento dos problemas ambientais, conhecer as aptidões e restrições das atividades que ocorrem na superfície terrestre tem sido necessário para disciplinar o uso e a ocupação do solo. Visando contribuir com a minimização destes impactos, o zoneamento se constituiu como um instrumento estratégico de adequação do uso da terra, desempenhando um papel importante na sustentabilidade, tanto do ponto de vista ecológico quanto econômico (CAMPBELL; KIM; ECKERD, 2014; CASTANHEIRA et al., 2014; LOPES, LOURENÇO; STRENZEL, 2016).

No Brasil, o zoneamento é realizado desde o Estatuto da Terra ao se investigar a aptidão agrícola do território, foi inserido na Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), no Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) e, atualmente, vem sendo incorporada na Política Nacional de Ordenamento Territorial e nos Planos Diretores Municipais através do Estatuto da Cidade (BRASIL, 1964; 1981; 1988; 2000).

Este estudo apresenta o zoneamento como um instrumento da política ambiental e urbanas do Brasil, concebido como um documento norteador, orientativo e propositivo para auxiliar o planejamento de um território, visando o uso sustentável dos recursos naturais, o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida da população.

Embora presente nas legislações e comumente reconhecido como “Zoneamento Ambiental”, somente em 2002, este instrumento foi regulamentado pelo Decreto 4.297/2002 e estabelecido critérios para a sua elaboração, dentre eles, a renomeação para “Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE)”, ampliando a concepção da relação homem-natureza, a interseção entre as políticas públicas, os meios de produção e a biodiversidade (BRASIL, 2002; 2006).

Contudo, o instrumento apresenta lacunas no âmbito político, conceitual e metodológico que o torna passivo de uma diversidade de interpretações e complexidade na

execução das propostas que, em sua maioria, não atendem ao objetivo ou não se adequam ao território investigado.

Dentre as lacunas que merecem destaques e aprofundamento científico, existem dois entraves que se mostram, no cotidiano da gestão ambiental, passíveis de investigação para o aprimoramento e eficiência deste instrumento. São eles:

- **A construção de diretrizes metodológicas específicas do ZEE para cada local.** As diretrizes são importantes para orientar e contribuir com a construção de propostas concisas que auxiliem o planejamento e a gestão da área estudada. Atualmente, é possível encontrar as Diretrizes Metodológicas para o ZEE, elaborada e difundida pelo Ministério do Meio Ambiente em 2006. O documento aborda orientações gerais para a execução do instrumento e, por muitas vezes, pode ser considerado simplista ao tratar o instrumento de forma generalizada, desconsiderando as características e complexidades que cada território brasileiro apresenta (BRASIL, 2006);

- **O processo metodológico para a elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico.** O ZEE por ser o instrumento que produz um diagnóstico do território, necessita de aprimoramento metodológico através da avaliação dos atributos (BARROS, 2015). As metodologias aplicadas na elaboração das propostas requerem a constante incorporação de técnicas, parâmetros e procedimentos, justificada pela necessidade de adequá-los às características dos territórios avaliados, fazendo do ZEE um campo permanente de investigação científica.

Associado ao aprimoramento do ZEE, a gestão dos recursos hídricos é necessária à conservação dos atributos ambientais e a garantia da quantidade e qualidade da água como recurso mineral essencial a sobrevivência humana. A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) aborda a importância de integrar a gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental, sendo a bacia hidrográfica a unidade territorial para implementação de políticas ambientais (BRASIL, 1997).

Sabe-se que os avanços sobre os recursos naturais e o aumento da demanda do uso hídrico convergem para grandes alterações e geram mudanças na vazão dos cursos de água, redução das áreas de infiltração das águas pluviais e escoamento superficial mais rápido, diminuindo a qualidade dos recursos hídricos e as condições de vida da população.

Nesta perspectiva, a gestão hídrica compreende uma etapa importante para promover a recuperação e a preservação da qualidade e quantidade dos recursos ambientais das bacias hidrográficas. Essa gestão constitui-se como um conjunto de ações destinadas a regular o uso, o controle e a proteção dos recursos hídricos, em conformidade com a legislação e normas pertinentes.

Do ponto de vista técnico ou de gestão é verídico que as bacias hidrográficas possuem importância direta para a análise ambiental e representam a melhor forma de análise dos impactos antropogênicos sobre o território e múltiplas possibilidades para a investigação científica, ressaltando a intrínseca relação entre homem e água e a necessidade da organização destes territórios.

Assim, o estudo em bacias oportuniza o aprimoramento do ZEE para torná-lo eficaz em seus objetivos, assegurando que estudos deste tipo sejam constantes e auxiliem a gestão ambiental através da utilização sustentável dos recursos naturais, a redução de conflitos ambientais e a definição de cenários que estejam em consonância com os aspectos ambientais, jurídicos, políticos, econômicos, socioambientais e a participação dos diferentes agentes de decisão (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2009).

O estudo se propõe a investigar e contribuir para o aprimoramento do processo de construção do ZEE para bacias hidrográficas, através da análise das características físicas, bióticas e socioambientais como vetores do planejamento e da gestão, compatíveis com o preconizado pela legislação ambiental dos recursos hídricos.

No contexto da gestão de bacias hidrográficas, faz-se necessário avançar nas estratégias que assegurem caminhos concretos para a elaboração deste instrumento, reconhecendo que estas áreas apresentam uma complexidade ecossistêmica em seus atributos ambientais, enfática importância para a gestão dos recursos hídricos perenes e reconhecimento como unidade básica do planejamento ambiental (TUNDISI, 2006; SANTOS JUNIOR, 2011; LEAL, 2012; CARVALHO, 2014).

Além disso, o ZEE deve ser considerado um instrumento relevante para o ordenamento territorial de suas atividades. Isto porque, uma ocupação não controlada potencializa os impactos ambientais e a intensidade do uso da terra, aumentando os riscos diretos à integridade física, social e econômica da população e desencadeia a ausência da legalidade em relação as áreas de APPs e à expansão de culturas agrícolas (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2009; ESTEVEZ et al., 2011).

Esta pesquisa contribui com a proposição de Diretrizes Metodológicas específicas para o ZEE de bacias hidrográficas, visto que as diretrizes gerais existentes não consideram as

particularidades dos múltiplos territórios no país. Além disso, apresenta subsídios metodológicos para a integração de informações espaciais utilizando o Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto (SR), associados ao Sistema de Informações Geográficas (SIG), como suporte de apoio a tomada de decisão.

Considerando a perspectiva de aplicação em bacias hidrográficas, esse estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Una, no município de Ibiúna, Estado de São Paulo. No contexto ambiental regional esta área possui uma área hídrica de importância elevada quando se analisa a sua inserção geográfica, imersa na Região Metropolitana de Sorocaba, distante a 63 km da capital do Estado de São Paulo e circunvizinha a Região Metropolitana de São Paulo, ambas com alta densidade populacional e vocação agrícola que contribuem economicamente para o Produto Interno Bruto estadual.

Em um contexto generalizado, a região encontra-se inserida em Unidades de Conservação para a conservação de seus atributos ecológicos, mas por ser categorizada de uso sustentável, a multiplicidade de uso conduz a uma degradação ambiental e pressão antrópica em seus sistemas naturais. Tendo a bacia hidrográfica do rio Una inserida nessas condições socioambientais, ressalta-se a importância regional de investigar os atributos físicos de suas áreas e que demandam o estudo detalhado das perspectivas ambientais em relação às demandas de uso e ocupação, bem como da compreensão da realidade municipal e estadual.

Esta pesquisa possuiu apoio institucional do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), de acordo com a aprovação da Pesquisa no Programa Novos Talentos – Edital 02/2015.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Contribuir com o aprimoramento da elaboração do ZEE para bacias hidrográficas, por meio do desenvolvimento de um conjunto de diretrizes metodológicas e da proposição de uma metodologia de integração de dados espaciais, utilizando geoprocessamento e sensoriamento remoto, em ambiente SIG.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Desenvolver um conjunto de diretrizes metodológicas de suporte para a elaboração do ZEE, capaz de ser referência para orientar a gestão ambiental de bacias hidrográficas (capítulo III);

Desenvolver um indicador de degradação para bacias hidrográficas, utilizando aspectos quantitativos e qualitativos da paisagem, capaz de auxiliar a identificação da degradação em estudos de ordenamento territorial (capítulo IV);

Avaliar os parâmetros hidrológicos, morfométricos e pedológicos, visando a caracterização estrutural da bacia hidrográfica do rio Una (capítulo V);

Avaliar a vegetação natural de mata atlântica através de métricas da paisagem e índices espectrais de vegetação, indicando caminhos para a sua conservação na bacia hidrográfica do rio Una (capítulo VI);

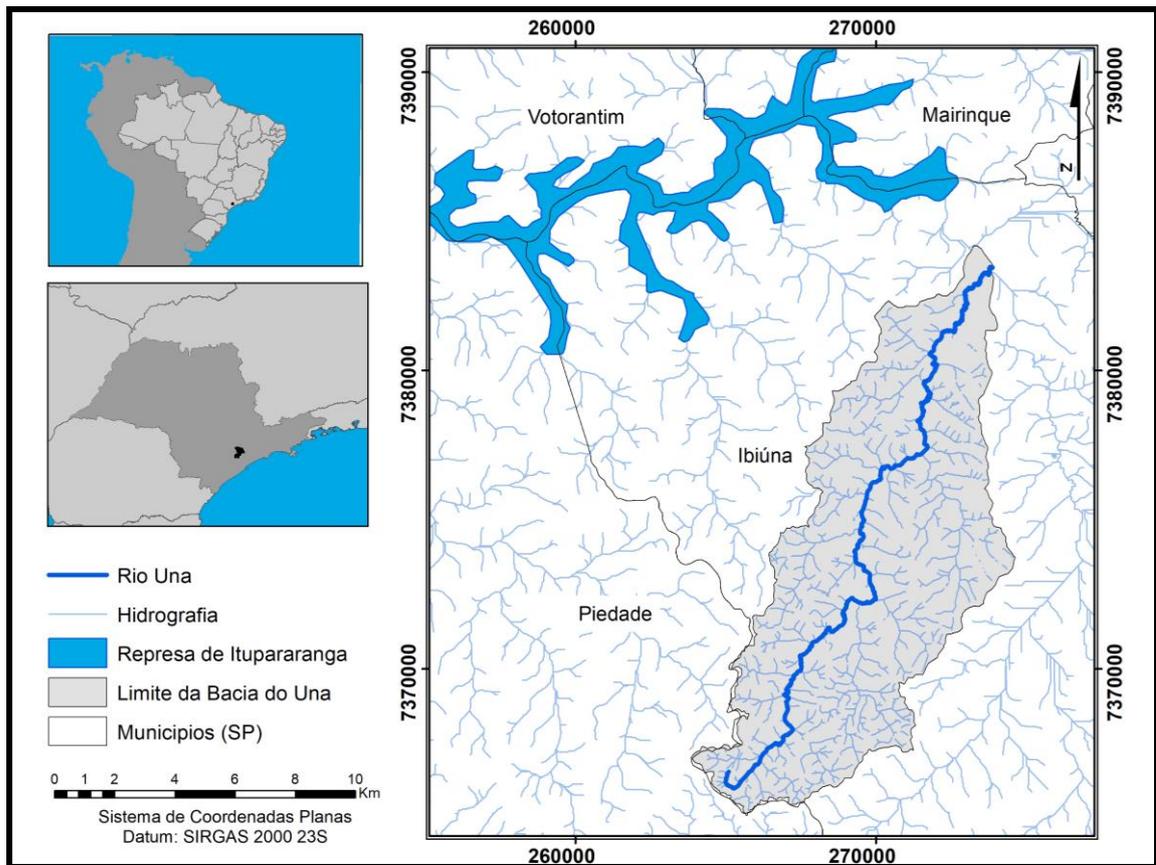
Caracterizar e analisar a relação entre aspectos sociais, econômicos e ambiental na bacia hidrográfica do rio Una, Ibiúna, São Paulo, subsidiando caminhos metodológicos para a análise socioambiental espacial de bacias hidrográficas (capítulo VII);

Desenvolver um modelo de integração de dados espaciais, através da elaboração de uma proposta de ZEE para a bacia hidrográfica do rio Una, capaz de ser utilizada em áreas similares no país e subsidiar métodos alternativos para o instrumento no contexto da análise ambiental integrada (capítulo VIII).

## **1.2 Área de estudo**

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Una, localizada em sua totalidade no município de Ibiúna e pertencente a Décima Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGHRI 10), na região sudeste do Estado de São Paulo (Figura 1.1).

Figura 1. 1 - Localização da bacia do Una, Ibiúna, São Paulo.



Fonte: Autoria Própria.

A extensão territorial da bacia é equivalente a 96 km<sup>2</sup>, tendo como curso principal o rio Una, com extensão de 25 km, recebendo águas do córrego do Cupim, ribeirão do Leopoldo e ribeirão do Salto, desaguando no rio Sorocabuçu, que juntamente com o rio Sorocamirim, forma o rio Sorocaba e, por sua vez, abastece o reservatório de Itupararanga.

O clima da bacia é definido como Cwa, com clima temperado e verão quente e úmido, de acordo com a classificação de Dubreuil et al. (2017). A série histórica entre 1984 a 2014 divulgado pelo Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO) permite definir o período úmido entre outubro a março, sendo o mês de janeiro com a maior média mensal de precipitação (242 mm), enquanto o período seco é definido entre abril a setembro, sendo agosto o mês com menor precipitação para a área (34 mm) (CIIAGRO, 2015).

À estas características soma-se a inserção da bacia no bioma Mata Atlântica e na Área de Proteção Ambiental (APA). A bacia do rio Una apresenta uma zona de transição entre rural e urbana, com histórico de fragmentação da paisagem.

---

## CAPÍTULO II

### Zoneamento Ecológico-Econômico no Brasil e suas suas características em bacias hidrográficas: o estado da arte

---

**Resumo:** O Zoneamento Ecológico-Econômico é um instrumento ambiental reconhecido e legalizado no Brasil pela Política Nacional de Meio Ambiente e pelo Decreto n. 4297/2002, o qual dispõe de critérios para o ordenamento territorial considerando as influências físicas, bióticas e socioeconômicas. O processo de construção e efetivação desse instrumento sofreu diversos ajustes normativos e apresenta entraves em seu desenvolvimento que precisam ser avaliados. O uso de bacias hidrográficas como unidades para a aplicação do zoneamento ainda pode ser considerado incipiente, apesar do seu reconhecimento como unidade básica de planejamento dos recursos hídricos. Verificou-se 22 estudos nestas áreas entre 1998 e 2017, com maior predominância na região sudeste, elevada consideração de aspectos físicos e baixa importância para aspectos bióticos e socioeconômicos.

#### 1. Métodos

Delineou-se uma abordagem metodológica qualitativa fundamentada nas contribuições sobre o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE). Realizou-se uma pesquisa documental, através de um levantamento do aparato legislativo que constrói o desenvolvimento do ZEE no Brasil. Posteriormente desenvolveu-se uma pesquisa bibliográfica, através da caracterização dos ZEEs em bacias hidrográficas com base em uma listagem dos estudos identificados a partir de dois descritores “Zoneamento Ecológico-Econômico” e “Bacias Hidrográficas”

Os estudos foram obtidos por meio da base nacional de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a qual dispõe da concentração dos estudos indexados em periódicos nacionais e internacionais, além da base de Dissertações e Teses dos Programas de Pós-Graduação.

Foram levantados um total de 100 estudos, os quais foram analisados para a seleção das produções que possuíam a elaboração de uma proposta de zoneamento no contexto da bacia hidrográfica. A listagem final apresentou a totalidade de 22 estudos, sendo conferida a possibilidade de um artigo pertencer aos resultados das dissertações ou teses selecionadas.

Os estudos foram caracterizados e tabulados no *Microsoft Office Excel*, identificando as seguintes variáveis: tipo de produção (artigo, dissertação, tese), ano de publicação, nome do programa de pós-graduação ou periódico, conceito do programa de pós-graduação ou qualis do periódico (período triênio 2013-2016), local de estudo e estado federativo, parâmetros utilizados, programas de processamento de dados utilizados, metodologias de integração de dados e zonas de manejo estabelecidas. Para efeito de comparação, os

parâmetros dos estudos foram agrupados em cinco eixos de estudo: paisagem, morfométrico, físico, biótico e socioambiental.

Para avaliar o grau de dissimilaridade, utilizou-se a análise multivariada de agrupamento hierárquico através do método de análise de clusters (*analysis clusters*), conforme Bassab et. al (1990). A partir das variáveis foram padronizadas e avaliadas utilizando o método *Ward* no *software R* (R FOUNDATION, 2011), buscando a formação de subgrupos hierarquizados, de modo que os subgrupos formados obtivessem características de grande similaridade interna e grande dissimilaridade externa.

Com base no procedimento acima, calculou-se a distância euclidiana entre as características dos ZEEs estudados. Neste formato, sistematiza-se uma sequência de agrupamento por proximidade geométrica, com o objetivo de padronizar e estabelecer o nível de significância dos indicadores. Para tanto, foi utilizado o método *k-means clustering* no *software R*.

Assim, foi possível analisar o comportamento de suas variáveis dentro dos grupos identificados para construção do dendrograma.

## **2. Resultados e Discussão**

### **2.1 Zoneamento Ecológico-Econômico no Brasil**

O ato de zonedar consiste no planejamento integrado da compartimentação de uma dada região, através da avaliação dos atributos naturais, sociais e econômicos, a fim de se estabelecer um conjunto de normas específicas para a gestão dos recursos, da manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (SANTOS, 2004; AMORIM; OLIVEIRA, 2013).

A necessidade de organizar e zonedar um território surgiu nas Conferências das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano em 1972, sobretudo pela exploração exacerbada dos recursos naturais e da forte expansão da fronteira agrícola, dos processos de urbanização e industrialização associados à insuficiência de recursos financeiros para o controle dessas atividades (BRASIL, 2011a; AMORIM; OLIVEIRA, 2013).

O ZEE deve assim, ser o resultado de um processo político-administrativo, em que os conhecimentos técnicos e científicos são imprescindíveis para a adequação à realidade ambiental e socioeconômica da área zonedada, tornando-se uma tarefa complexa baseada na tomada de decisão que inerentemente requer a avaliação de vários atributos da terra (GENELETTI; DUREN, 2008; LOPES; CESTARO; KELTING, 2012).

É também, um importante avanço para o desenvolvimento territorial, representando uma forma de negociação e de ajuste entre as diversas visões sobre desenvolvimento, sendo um recurso estratégico para propor alternativas de usos, definindo uma nova visão institucional do sistema nacional de planejamento (VEIGA, 2001; LOPES; CESTARO; KELTING, 2012).

É uma ideia oposta ao modelo desenvolvimentista que não reconhece as diferenciações e vulnerabilidades observadas na paisagem brasileira. Dessa forma, o zoneamento propõe normas para determinar a capacidade de exploração dos recursos naturais e as condições à resiliência do ecossistema (SILVA NETO, 2014).

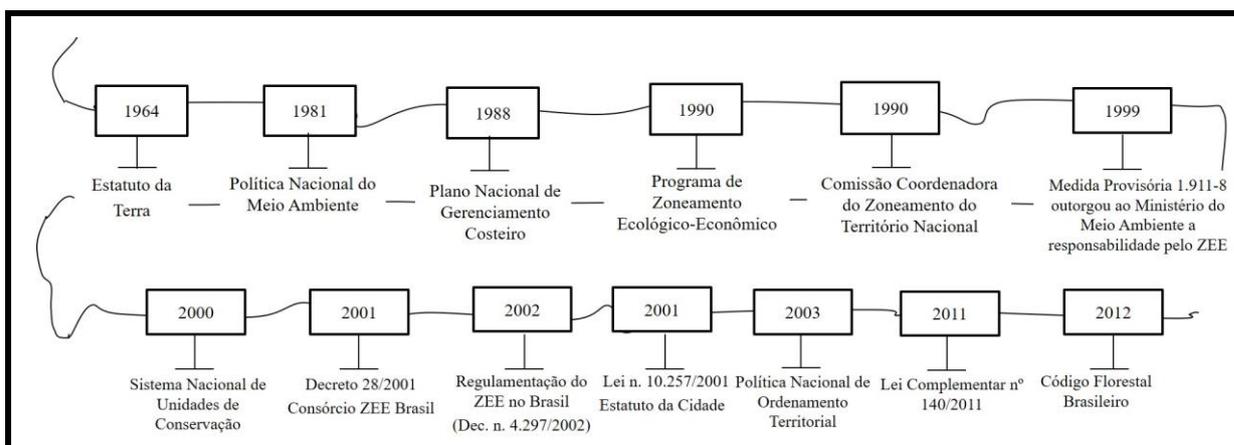
Embora presente nas legislações e comumente reconhecido como “Zoneamento Ambiental”, somente em 2002, este instrumento foi regulamentado pelo Decreto 4.297/2002 e estabelecido critérios para a sua elaboração, dentre eles, a renomeação para “Zoneamento Ecológico-Econômico”. Essa regulamentação ampliou a concepção da relação homem-natureza, a interseção entre as políticas públicas, os meios de produção e a biodiversidade na elaboração do ZEE (BRASIL, 2002; 2006).

Contudo, o desenvolvimento do instrumento no país e a sua aplicação dentro das concepções de gestão ambiental, carece de uma série de discussões no tocante ao aparato legislativo, a nomenclatura do instrumento; as diretrizes metodológicas de elaboração; a metodologia de elaboração das propostas; e as propostas finais de ZEEs elaboradas.

### **2.1.1 Aspectos jurídicos que incidem sobre o ZEE**

Durante muito tempo, o ZEE foi executado de forma aberta, sem especificações e normas definidas para a execução das propostas. O marco legal do desenvolvimento do zoneamento enquanto instrumento do planejamento e da gestão ambiental pode ser observado na Figura 2.1.

Figura 2. 1 - Marco Legal do Zoneamento Ecológico-Econômico no Brasil.



Fonte: Autoria Própria.

Segundo Meneguzzo e Albuquerque (2009) e Silva, Andersen e Kassmayer (2012) a implantação do ZEE faz parte de uma geração de políticas públicas ambientais, apoiada na gestão territorial e nos princípios do desenvolvimento sustentável. Para os últimos autores, o instrumento é balizado por diferentes legislações sobre a regulação do uso do território, visando demarcar áreas protegidas e avaliar as probabilidades de crescimento das atividades em determinada região ou a sumária restrição em outras.

O Estatuto da Terra veio como legislação inicial que identificava as áreas potenciais para a produção agrícola, trazendo de forma indireta o que se buscava com um zoneamento: a definição de zonas específicas para determinadas atividades no território (BRASIL, 1964). O entendimento de zoneamento vem na legislação associada às concepções de latifúndio e as definições de módulos para as propriedades rurais, que seriam fixados a partir de zona de características econômicas e ecológicas homogêneas.

No Estatuto, a política de reforma agrária é igualmente associada ao zoneamento. Neste período, o Instituto Brasileiro de Reforma Agrária tinha como função promover a realização de estudos de zoneamento do país, visando definir quais as regiões críticas para a reforma agrária com progressiva eliminação dos minifúndios e dos latifúndios; as regiões de desenvolvimento social e econômico; as regiões economicamente ocupadas com atividades de subsistência; as regiões em fase de ocupação econômica, carentes de programa de desbravamento, povoamento e colonização de áreas pioneiras.

A elaboração dos estudos deveria considerar a posição geográfica das áreas em relação aos centros econômicos no país; o grau de intensidade de imóveis rurais acima de mil hectares e abaixo de cinquenta hectares; o número médio de hectares por pessoa ocupada; as

populações rurais e sua densidade; a relação entre o número de proprietários e o número de rendeiros, parceiros e assalariados em cada área.

Até 1981, essa era a legislação que trazia as concepções de zoneamento ao mesmo tempo em que se avançava nas discussões sobre o aparato ambiental e agrário no país. Com a criação da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) a análise e as orientações das atividades relacionadas ao meio ambiente foram então reorganizadas visando a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental e provimento de condições ao desenvolvimento socioeconômico. Nessa Política, o zoneamento foi definido como o instrumento para a execução de atividades e medidas sobre o planejamento ambiental, denominado por zoneamento ambiental (BRASIL, 1981).

Em 1988, o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) foi instituído com a premissa de ordenar e conservar a zona costeira brasileira, atribuindo ao zoneamento a função de instrumento fundamental ao pleno desenvolvimento e conservação das características marítimas, terrestres e atmosféricas nestas áreas. No PNGC, o ZEE foi definido como:

É o principal instrumento de Gerenciamento Costeiro, que estabelece as diretrizes de ocupação de solo e de uso dos recursos naturais. Visa a identificação de unidades especiais (zonas) que, por suas características físicas, bióticas e socioeconômicas, sua dinâmica e contrastes internos, devam ser objeto de atenção com vistas ao desenvolvimento de ações capazes de conduzir ao aproveitamento, manutenção ou recuperação do seu potencial (BRASIL, 1988).

Dessa forma, o ZEE atinge o objetivo de normatizar a ocupação do solo e o uso dos recursos naturais e ecossistemas costeiros, apontando os usos prioritários para cada zona identificada, através do enfoque holístico e da visão sistêmica de causas e efeito do uso dos sistemas físico-biótico e socioeconômico (BRASIL, 1988). Atualmente, o Decreto n.5.300/2004 regulamentou o PNGC e, conseqüentemente, definiu regras de uso e ocupação e gestão da zona costeira. O ZEE costeiro é discutido no artigo 7º e um dos anexos da lei consta de orientações para a obtenção do mesmo (BRASIL, 2004).

Em 1990, o Decreto Federal n. 99.193/1990 criou o Programa de Zoneamento Ecológico-Econômico (PZEE) e definiu a Comissão Coordenadora do Zoneamento Ecológico-Econômico do Território Nacional (CCZEE), orientando a execução, o planejamento e a avaliação da execução do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) no território nacional. Em 1999, a medida provisória n. 1.911-8 transferiu a responsabilidade do ordenamento territorial e do ZEE para o Ministério do Meio Ambiente (MMA) (PEREIRA et al., 2011; BARROS, 2015).

Com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) em 2000, o zoneamento juntamente com o plano de manejo, surge como instrumento balizador da conservação e proteção dos recursos naturais, definindo os setores ou zonas em uma unidade de conservação com objetivos de proporcionar os meios e as condições para que todos os objetivos da unidade possam ser alcançados de forma harmônica e eficaz (BRASIL, 2000).

Em 2001, foi apresentado o Decreto n. 28/2001 dispondo sobre a Comissão Coordenadora do Zoneamento Ecológico-Econômico do Território Nacional e o Grupo de Trabalho para a Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico, instituindo o Consórcio ZEE Brasil como um Grupo de Trabalho permanente para executar do ZEE (BRASIL, 2001).

No mesmo ano passou a integrar a Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001, que dispõe do Estatuto das cidades, sendo um instrumento da política urbana nacional. Nesta Lei, o zoneamento também complementa os Planos Diretores Municipais desenvolvido para o planejamento urbano através da proteção do meio ambiente e do crescimento econômico, culminando na promoção de um desenvolvimento urbano sustentável.

A relevância do Plano Diretor no cenário urbanístico brasileiro consiste também da articulação necessária entre o meio ambiente urbano e rural. A obrigatoriedade da sua revisão, a cada dez anos, faz com que ele não se estratifique no tempo e no espaço, mas que evolua juntamente com a sociedade para a qual se destina.

Embora tenha sido proposto como parte da política ambiental brasileira, o zoneamento não apresentava, em sua essência, considerações acerca da importância, objetivo e sistemática de elaboração, permitindo diferentes interpretações pelos órgãos e pesquisadores. Até 2001, o zoneamento era inserido na legislação, mas a sua interpretação, execução e implementação era confusa e sem orientações específicas.

Somente em 2002, a regulamentação do ZEE foi apresentada à política brasileira, através do Decreto n. 4.297/2002, embasando o artigo 9º, inciso II da Lei 6.938/1981 e denominando o zoneamento ambiental como zoneamento ecológico-econômico. Para este decreto, o ZEE foi definido como:

Instrumento de organização do território a ser obrigatoriamente seguido na implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas, estabelece medidas e padrões de proteção ambiental destinados a assegurar a qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população (BRASIL, 2002).

Com esta regulamentação, o processo de elaboração do ZEE tornou-se claro, em termos do que buscar, quais produtos gerar e como analisá-los. No Decreto, fica claro que o ZEE tem por objetivo o de organizar as decisões dos agentes públicos e privados que, direta ou

indiretamente, utilizem recursos naturais, assegurando a manutenção do capital e os serviços ecossistêmicos. Nesse quesito, a distribuição espacial das atividades econômicas, deve considerar a importância ecológica, as limitações e as fragilidades dos ecossistemas, estabelecendo vedações, restrições e alternativas de exploração do território determinando a realocação de atividades incompatíveis (BRASI, 2002).

Em 2003, o zoneamento foi incluído na discussão da Política Nacional de Ordenamento Territorial, em 2011 a Lei Complementar nº 140/2011 definiu como função da União a elaboração do ZEE nacional e regional, aos estados o ZEE estadual e aos municípios, o plano diretor, observando os zoneamentos pré-existentes (BRASIL, 2011b).

Nos tempos atuais, o Código Florestal Brasileiro, atualizado em 2012, também ressaltou a importância do ZEE nas avaliações e no processo de ordenamento e conservação ambiental, reafirmando a sua importância para a atribuição de reserva legal, áreas de preservação permanente e a execução das atividades nas unidades de conservação e na zona costeira (BRASIL, 2012a).

### **2.1.2 Nomenclatura do instrumento**

Embora não aparente um problema a ser discutido no âmbito do ZEE, o título de determinadas propostas reflete o interesse do pesquisador e reforça uma confusão metodológica, conceitual e jurídica do ato de zonear no Brasil. As diferentes nomenclaturas vêm sendo adotadas muito antes da normalização do instrumento, abordando aspectos diferenciados de análise territorial, mas com propostas finais semelhantes.

Para Millikan e Del Prette (2000) e Ranieri et al. (2005), a nomenclatura do zoneamento foi iniciada com duas tradições: à regulação de uso do solo urbano e a abordagem agrícola. Para os autores, o zoneamento urbano busca a definição de zonas para as diversas atividades, mantendo as áreas residenciais isoladas, enquanto a abordagem agrícola indicava as aptidões produtivas do meio rural.

Atualmente, podemos destacar a existência de outras nomenclaturas de zoneamentos, dentre eles, os zoneamentos agroecológicos, agrícola de risco climático, industrial, urbano, etnozoneamento, socioeconômicos, socioecológicos. Embora os pesquisadores e gestores trabalhem com estas adjetivações, é importante frisar que os zoneamentos apresentam o mesmo objetivo: estabelecer zonas de manejo para permissão ou restrição de atividades (SANTOS, 2004; SILVA; SANTOS, 2004; LIMA; REMPEL; ECKHARDT, 2007;

THOMAS, 2012; SANTOS; RANIERI, 2013; VASCONCELOS; HADAD; MARTINS JUNIOR, 2013; CARVALHO, 2014).

O Zoneamento agroecológico (ZAE) e o Zoneamento agrícola de risco climático (ZARC) são regidos pela Lei Federal n. 8.171/1991. O primeiro visa estabelecer critérios de disciplinamento e o ordenamento da ocupação espacial das atividades produtivas e o segundo é desenvolvido com o objetivo de minimizar os riscos climáticos, a partir da identificação da época de plantio das culturas, em diferentes tipos de solo e cultivares (BRASIL, 1991).

Já o Zoneamento industrial (ZI) é previsto na Lei Federal n. 6.803/1980, realizado para áreas críticas de poluição visando à identificação das zonas destinadas à instalação de indústrias, compatibilizando as atividades industriais com a proteção ambiental (BRASIL, 1980). O Zoneamento urbano (ZU) é aquele produto relativo aos planos diretores municipais, onde se dispõe zonas de uso e a ocupação do solo para as cidades. Por fim, o Etnozoneamento compõe parte da Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental de Terras Indígenas (PNGATI), sob o Decreto federal n. 7.747/2012, e destina-se ao planejamento participativo e a categorização de áreas de relevância ambiental, sociocultural e produtiva para os povos indígenas (BRASIL, 2012b).

Importante ressaltar que, embora seja elaborado para diversos fins, não se pode perder a visão de desenvolvimento sustentável e da conservação dos atributos ambientais da área avaliada. Logo, o contexto ecológico e econômico deve ser ressaltado nestas propostas e seria prudente a padronização de um único zoneamento incluindo na proposta se o objetivo destina-se ao uso agrícola, industrial, urbano, climatológico, socioecológico ou a outra finalidade.

Considerando a legalidade da política ambiental, o ZEE é o único instrumento regulamentado se comparado aos demais. Essa concepção também é destacada por Santos e Ranieri (2013) quando afirmam que apenas o zoneamento ambiental era reconhecido pela PNMA e após a avaliação e críticas dos diferentes setores da sociedade o ZEE tornou-se o único instrumento regulamentado e com diretrizes instituídas legalmente.

Os estudos que ainda denominam o instrumento como “zoneamento ambiental” já os definem como um instrumento que propõe um conjunto de diretrizes, atividades, e medidas para organizar uma região, tendo em vista o uso adequado do solo, água, vegetação e da fauna silvestre, o atendimento as demandas socioeconômicas da população e as demandas de conservação ambiental, passando a estabelecer a tríade ambiental, social e econômica nas análises realizadas (VALE et al., 2008; SILVA NETO, 2014).

Hoje, com a renomeação para “zoneamento ecológico-econômico”, algumas concepções e definições também foram modificadas, sendo o ZEE um instrumento que se

propõe a ampliar a relação homem-natureza, fazendo a interseção entre as políticas públicas, os meios de produção e a biodiversidade (BRASIL, 2006).

Ainda que essa política ambiental seja difundida e esteja clara nos meios acadêmicos e nos setores municipais, estaduais e federais, pode-se afirmar que não há um consenso entre gestores e pesquisadores sobre o instrumento e o que se tem adotado nos estudos é uma forma subentendida de zoneamento ecológico-econômico baseada no Decreto n. 4297/2002 (THOMAS, 2012; SILVA et al., 2012; SANTOS; RANIERI, 2013; VASCONCELOS et al., 2013; CARVALHO, 2014).

Observa-se que as diferentes nomenclaturas intensificam uma complexidade sobre a elaboração e utilização do instrumento, fato que não contribui com o seu desenvolvimento e consolidação para o planejamento e gestão ambiental. Assim, é plausível que se adote a nomenclatura estabelecida e normatizada pelo Decreto n. 4297/2002 e que seus princípios e objetivos sejam considerados no âmbito da elaboração das propostas.

### **2.1.3 Diretrizes Metodológicas do ZEE**

Em 2006, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) lançou em âmbito nacional as Diretrizes Metodológicas para o ZEE. Estas diretrizes foram produzidas com base em uma série de reuniões que envolveram representantes executivos, acadêmicos e poder público (BRASIL, 2006; VASCONCELOS et al., 2013). Suas bases apresentam o contexto de construção do instrumento do país e orientam os envolvidos no processo de execução de propostas, os aspectos generalizados do planejamento e prognóstico (BRASIL, 2011a).

Ao ser denominado por “Diretrizes Metodológicas” esperava-se do documento caminhos concretos para alcançar propostas de ZEEs concisas. Porém, ao avaliá-la criticamente, observa-se uma abordagem filosófica, histórica e qualitativa da existência do ZEE e caminhos metodológicos superficiais. As diretrizes se mostram distantes de aproximar o pesquisador/gestor de caminhos metodológicos para obtenção de propostas concisas de ZEEs.

O primeiro entrave das diretrizes refere-se a dificuldade deste documento em atingir o objetivo a que se propõe: o de oferecer caminhos metodológicos para a elaboração do ZEE. É uma condução mais filosófica que metodológica, mais teórica que prática.

Uma segunda crítica refere-se à simplicidade em tratar a elaboração do ZEE para diferentes territórios. O Brasil é um país multiterritorial, com distintas características sociais, ambientais, econômicas e culturais. Essas características devem ser consideradas na análise do

território e elaboração do ZEE. Considerando que o zoneamento é elaborado para unidades de conservação, bacias hidrográficas, biomas, estados e cidades, e que estes territórios destoam em termos da relação homem-natureza e atributos ambientais é importante que se discuta as abordagens e concepções do ZEE para diferentes territórios.

Neste item, observa-se a necessidade de uma revisão crítica das diretrizes metodológicas buscando incorporar três aspectos cruciais: quais as orientações técnico-metodológicas devem ser indicadas ao ZEE? Como proceder a elaboração do ZEE na perspectiva de diferentes territórios? Não seria essencial a construção de diretrizes metodológicas do ZEE específicas para cada território?

Após 12 anos de publicação das Diretrizes, o documento pode ser considerado pouco efetivo e de baixo uso pelas propostas de ZEEs. Nesse tempo, não houve atualizações e revisões para avaliar a eficácia do documento e não fica clara a importância destas diretrizes para elaborar uma proposta de zoneamento.

Não há dúvidas que as diretrizes metodológicas são essenciais ao desenvolvimento do ZEE, orientando e contribuindo com a construção de propostas concisas que auxiliem o planejamento e futuramente a gestão da área estudada, mas a que se encontra em vigor necessita de revisão e abordagens mais detalhadas quanto ao objetivo a que deseja atingir.

#### **2.1.4 Metodologia e parâmetros para a elaboração das propostas de ZEE**

Relacionado ao processo metodológico para elaboração do instrumento, há a utilização de distintas técnicas e parâmetros, justificada pela necessidade de adequá-los às variáveis analisadas em diferentes territórios. Segundo Steinberger e Romero (2000) não se deve utilizar uma metodologia pré-estabelecida, mas construí-la a partir de uma interação entre os sistemas ambientais e as formações socioeconômicas e culturais, considerando as características locais como parte importante no processo de escolha dos métodos e da sequência a ser seguida no desenvolvimento do trabalho.

Neste sentido, a cada proposta de ZEE existente é apresentada uma abordagem metodológica diferenciada e o uso de parâmetros baseia-se nas concepções do executor sobre o território avaliado.

Dentre os parâmetros analisados, o mapeamento do uso da terra tem sido a principal base de dados, mas apresentam avaliações superficiais para indicar as potencialidades e restrições futuras no ordenamento territorial. A análise litológica, pluviométrica, áreas antrópicas, áreas de conflitos e de preservação permanente também apresentam destaque nos

estudos realizados (OLIVEIRA et al., 2011; REMPEL et al., 2012; COSTA; NISHIYAMA, 2012; THOMAS, 2012; MENESES, 2012; SILVA, 2013; SILVA NETO, 2014; ELHAG, 2015).

Em contrapartida, há uma baixa análise das características socioeconômicas, registrando escassos estudos que combinam atributos naturais e socioeconômicos em uma mesma proposta de zoneamento (MELO; LIMA, 2012; LANDIM NETO et al., 2014).

Entre as técnicas e ferramentas utilizadas, o geoprocessamento e a análise multicritério (AMC), ambientadas no Sistema de Informações Geográficas (SIG), são vistas como essenciais para identificar as áreas prioritárias durante a definição das zonas de manejo. No caso do geoprocessamento e do SIG, ambos representam um ambiente ideal para avaliar, manipular e corrigir dados em tempo real, enquanto a AMC permite ponderar diversas variáveis, culminando em resultados abrangentes a nível espacial com o uso inovador da tecnologia (GENELETTI; DUREN, 2008; AHAMED et al., 2011; MENESES, 2012; OHADI et al., 2013; ZHANG et al., 2013; ABREU; COUTINHO, 2014; ELHAG, 2015; YATES; SCHOEMAN; KLEIN, 2015; LOPES, LOURENÇO; STRENZEL, 2016).

Neste aspecto, o ZEE será sempre um espaço científico para a investigação de parâmetros e técnicas que subsidiem o estabelecimento de zonas de manejo e caracterização territorial. Essas investigações são importantes contribuições para desenvolver estratégias metodológicas e possibilitar caracterizações que reflitam a realidade do território avaliado.

### **2.1.5 Propostas Finais de ZEE**

As propostas finais dos ZEEs devem levar em consideração quatro aspectos de relevante interesse para a sua funcionalidade: princípios de elaboração, definição das zonas de manejo, escala, aplicabilidade no território e aproximação sociocultural do território avaliado.

Segundo as diretrizes metodológicas do ZEE, as propostas devem ser construídas de forma participativa, equitativa, sustentável, holística e sistêmica, conforme apresentado na Tabela 2.1.

Tabela 2. 1 - Princípios para a elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico

Princípios	Definição
Participativo	Os atores sociais devem intervir durante as diversas fases dos trabalhos, desde a concepção até a gestão para que o ZEE seja autêntico, legítimo e realizável.
Equitativo	Igualdade de oportunidade de desenvolvimento para todos os grupos sociais e para as diferentes regiões.
Sustentável	O uso dos recursos naturais e do meio ambiente deve ser equilibrado, buscando a satisfação das necessidades presentes sem comprometer as próximas gerações.
Holístico	Abordagem interdisciplinar para a integração de fatores e processos, considerando a estrutura e a dinâmica ambiental e econômica.
Sistêmico	Visão sistêmica que propicie a análise de causa e efeito, permitindo estabelecer as relações de interdependência entre os subsistemas físico-biótico e socioeconômico.

Fonte: Brasil (2006).

Dessa forma, os ZEEs devem permitir que os atores sociais participem do processo de elaboração, sendo autêntico, legítimo e realizável; possua igualdade de oportunidade de desenvolvimento para toda a população e atividades; o uso dos recursos naturais e do meio ambiente deve ser equilibrado; e sua elaboração deve prever uma abordagem interdisciplinar com visão sistêmica das relações de causa e efeito (BRASIL, 2011a).

Além disso, a Organização das Nações Unidas (2003) também reforça que o zoneamento deve ser um incentivador do desenvolvimento, e, portanto, ser dinâmico, propositivo, político e técnico.

As zonas devem ser delimitadas conforme as prescrições do Decreto n. 4297/2002, quando estabelece nos artigos 12 e 14 as considerações mínimas para a definição destas zonas:

**Art.12. A definição de cada zona observará, no mínimo:**

- I - diagnóstico dos recursos naturais, da socioeconomia e do marco jurídico-institucional;
- II - informações constantes do Sistema de Informações Geográficas;
- III - cenários tendenciais e alternativos; e
- IV - Diretrizes gerais e específicas, nos termos do art. 14 deste Decreto (BRASIL, 2002).

**Art. 14. As Diretrizes Gerais e Específicas deverão conter, no mínimo:**

- I - atividades adequadas a cada zona, de acordo com sua fragilidade ecológica, capacidade de suporte ambiental e potencialidades;
- II - necessidades de proteção ambiental e conservação das águas, do solo, do subsolo, da fauna e flora e demais recursos naturais renováveis e não-renováveis;
- III - definição de áreas para unidades de conservação, de proteção integral e de uso sustentável;
- IV - critérios para orientar as atividades madeireira e não-madeireira, agrícola, pecuária, pesqueira e de piscicultura, de urbanização, de industrialização, de mineração e de outras opções de uso dos recursos ambientais;
- V - medidas destinadas a promover, de forma ordenada e integrada, o desenvolvimento ecológico e economicamente sustentável do setor rural, com o objetivo de melhorar a convivência entre a população e os recursos ambientais,

inclusive com a previsão de diretrizes para implantação de infraestrutura de fomento às atividades econômicas;

VI - medidas de controle e de ajustamento de planos de zoneamento de atividades econômicas e sociais resultantes a iniciativa dos municípios, visando a compatibilizar, no interesse da proteção ambiental, usos conflitantes em espaços municipais contíguos e a integrar iniciativas regionais amplas e não restritas às cidades;

VII - planos, programas e projetos dos governos federal, estadual e municipal, bem como suas respectivas fontes de recursos com vistas a viabilizar as atividades apontadas como adequadas a cada zona (BRASIL, 2002).

O Decreto determina também, que as zonas estejam de acordo com as necessidades de proteção, conservação e recuperação dos recursos naturais e do desenvolvimento sustentável, orientadas pelos princípios da utilidade e da simplicidade, facilitando a implantação de limites, restrições e a compreensão pelos cidadãos.

As propostas finais do ZEE podem ser classificadas em escalas de trabalho compatíveis para: nacional – 1:5.000.000; macrorregional – 1:1.000.000; estadual – 1:1.000.000 a 1:3.000.000; local - 1:250.000 e 1:100.000; ou em detalhe, a partir de 1:100.000 quando se tratar de municípios, unidades de conservação e bacias hidrográficas (BRASIL, 2006; BARROS, 2015).

Já as diretrizes metodológicas do ZEE (BRASIL, 2006), estabelecem ainda uma divisão das escalas em dois enfoques: o estratégico e o tático, conforme Tabela 2.2.

Tabela 2. 2 - Escalas de representação das propostas de Zoneamento Ecológico-Econômico

<b>ENFOQUE</b>	<b>ABRANGÊNCIA TERRITORIAL</b>	<b>NÍVEL POLÍTICO ADMINISTRATIVO</b>	<b>ORDENS DE GRANDEZA</b>
<b>ESTRATÉGICO (POLÍTICO)</b>	Continental	Federal	1:10.000.000/1:5.000.000
	Nacional	Nacional/Federal	1:2.500.000/1.1000.000
	Regional	Regional/Federal/Estadual	1:1.000.000/1:250.000
<b>TÁTICO (OPERACIONAL)</b>	Estadual	Estadual/Municipal	1:250.000/1:100.000
	Municipal	Municipal	1:100.000/1:50.000
	Local	Distrital	1:25.000/1:1.000

Fonte: Brasil (2006).

O enfoque estratégico prevê o ZEE como resultado final para o planejamento de grandes áreas de domínio federal ou regional, visando a definição de políticas, planos e programas, servindo de instrumento de negociação entre as macrorregiões econômicas quanto ao uso e custos dos recursos naturais e seus benefícios comuns. O enfoque tático destina-se a administração estadual, municipal ou empresarial, buscando apoiar o gerenciamento de ações de preservação e proteção do capital natural local, reduzindo riscos pela implantação de empreendimentos econômicos e subsidiar os planos de monitoramento e avaliação de

impactos ambientais, planos diretores de áreas urbanas e planos de manejo de unidades de conservação (BRASIL, 2006).

Essas escalas devem ser previstas na elaboração da proposta, aliada ao objetivo que se deseja alcançar. Para isso, Acselrad (2000) tem alertado para as ambiguidades internas do ZEE quando enfatiza as dificuldades de representar “as realidades físicas e sociais do território”, com zonas “equiprobemáticas”, elaboradas por diferentes pontos de vista. Em outras palavras, estamos produzindo no território brasileiro, propostas de ZEE que não adequam-se aos territórios avaliados. As zonas não refletem a realidade avaliada e os direcionamentos para manejo se distanciam da realidade.

A Organização das Nações Unidas (2003) chama a atenção para que estes ZEEs não sejam apenas uma coletânea de mapas e relatórios com zonas homogêneas e estáticas cristalizadas em mapas. Para Acselrad (2000), o ZEE precisa ser “mapas falantes” por si mesmos, que se apresentam não como reflexos passivos do mundo dos objetos, mas como intérpretes do que alguns pretendem que seja “a verdade ecológica deste mundo”.

Para Sabatini et al. (2007) as propostas de ZEE já são dotadas da ausência de um mecanismo claro para operacionalizá-lo no chão. Para os autores, isso pode ocorrer principalmente em países em desenvolvimento, que possuem áreas protegidas sem financiamento e pessoal para projetar e cumprir as diretrizes sobre as atividades adequadas para cada zona estabelecida.

Por último, é importante que se tenha de forma clara, que a proposta de ZEE não será eficaz e atrativa se estiver distante da população. Concebendo que o ZEE em meio a sua implementação irá envolver mudanças, permissões, restrições e orientações no modo de vida e relação com o espaço em que a população habita, é preciso que o trabalho com a comunidade seja efetivo.

Essa compreensão de como ocorre à organização e apropriação do território pela população, permite, segundo Thomas (2012), buscar alternativas para solucionar problemas decorrentes de uma utilização errônea do meio, melhores condições de vida à população e a garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado. Por isso, é importante voltar ao princípio participativo, buscando conceber uma proposta aliada ao interesse da sociedade. Do contrário, o pertencimento do ZEE pela população não existirá e todo o trabalho será negligenciado e o ordenamento não será funcional e aplicável.

Uma vez finalizada a proposta de ZEE, e ao considerar os quatro aspectos supracitados, será possível conhecer a vocação de cada área, servindo de instrumento para a

adoção de políticas públicas que promovam o desenvolvimento socioeconômico e a conservação dos recursos naturais (REMPEL et al., 2012).

## **2.2 Zoneamento Ecológico-Econômico em Bacias Hidrográficas**

As bacias hidrográficas foram adotadas como unidades de gerenciamento dos recursos hídricos, inicialmente pela França, a partir da Lei da água (Lei 64. 1245 de 16 de dezembro de 1964), que idealizou um modelo de gerenciamento hídrico com estrutura descentralizada e participativa e definiu os limites espaciais das bacias hidrográficas, tornando-se um modelo de referência para os demais países (FRANÇA, 1964).

No Brasil, as bacias hidrográficas como unidades de gerenciamento só foram definidas com a promulgação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) em 1997 que buscou estabelecer parâmetros para a gestão eficiente das águas no país, considerando seus usos múltiplos e de domínio público (BRASIL, 1997).

Os caminhos que orientaram as bacias como unidades básicas de planejamento tiveram grande influência do exemplo francês, além da implementação do Código das Águas (Decreto 24.643 de 11 de julho de 1934), da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) e de uma série de estudos sobre estas áreas, que induziram o reconhecimento da sua importância na conservação de áreas de relevância hídrica (BRASIL, 1934; 1981; 1997).

Em 1976 foi estabelecido o acordo entre o Ministério das Minas e Energia e o governo do Estado de São Paulo para a melhoria das condições sanitárias das bacias do Alto Tietê e Cubatão. Em 1978, surgiu o Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas (CEEIBH), e a subsequente criação de comitês executivos em diversas bacias hidrográficas, como no Paraíba do Sul, no São Francisco e no Ribeira de Iguape. Em 1980, o Estado do Espírito Santo definiu o Consórcio Intermunicipal Santa Maria/Jucu. Em 1988, foram criados os Comitês das Bacias Sinos e Gravataí, afluentes do Guaíba no Estado do Rio Grande do Sul, em 1987 a Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) produziu a Carta de Salvador e em 1989 a de Foz do Iguaçu (PORTO; PORTO, 2008).

Estes episódios tem consagrado a bacia hidrográfica como unidade mais adequada para planejar e conduzir o uso e a exploração dos recursos naturais, partindo da concepção que seus limites são estáveis e facilitam o acompanhamento das alterações no padrão do uso e da ocupação sobre as áreas de recursos hídricos. Estas colocações foram também construídas

com base na dinâmica humana, quando no passado – e atualmente - o avanço se dá em direção aos locais com presença de rios, moldando a relação entre o homem e a água.

Sabe-se que os avanços e o aumento da demanda convergem para grandes alterações e geram mudanças na vazão dos cursos de água, redução das áreas de infiltração das águas pluviais e escoamento superficial mais rápido, que acabam diminuindo a qualidade dos recursos hídricos e as condições de vida da população.

Nesta perspectiva, a gestão de recursos hídricos compreende uma etapa importante para promover a recuperação e a preservação da qualidade e quantidade dos recursos das bacias hidrográficas e constitui um conjunto de ações destinadas a regular o uso, o controle e a proteção dos recursos hídricos, em conformidade com a legislação e normas pertinentes. A gestão de bacias hidrográficas envolvem dois aspectos fundamentais que norteiam a avaliação destas áreas, sendo eles: o tamanho da bacia e o limite territorial.

O tamanho da bacia hidrográfica apresenta um destaque no momento do planejamento e nos resultados de parâmetros analisados, sendo as menores bacias hidrográficas, as áreas com maior facilidade para o gerenciamento técnico e estratégico, especialmente pela possibilidade de garantir a participação popular e individualizar os problemas principais, que se tornam mais centralizados ou limitados. Para Porto e Porto (2008) essa também é uma questão da escala e depende do problema a ser solucionado. Para os autores, o tamanho ideal é aquele que incorpora toda a problemática de interesse, podendo ser a totalidade da bacia ou suas sub-bacias, dependendo do problema a ser abordado.

A delimitação territorial da bacia se dá na razão de que, os limites nem sempre coincidem com as divisões político-administrativas e pode, portanto, ser compartilhada a nível de países, estados e municípios, tornando-se uma unidade de gerenciamento ambiental, política e de tomada de decisão sobre os recursos hídricos. Essa razão justifica a macrodivisão territorial do Brasil por meio da Resolução 32 de 15 de outubro de 2003, em doze regiões hidrográficas, caracterizadas por áreas compreendidas por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares (BRASIL, 2003).

Logo, a definição das regiões incorporam diferentes áreas que podem ser enquadradas como bacias ou sub-bacias, de acordo com a escala de trabalho, discutida anteriormente. Essas áreas são delimitadas conforme as características topográficas e espaciais e convergem para a discussão sobre o conceito de bacias hidrográficas adotadas ao longo do tempo.

As bacias hidrográficas tem sido definidas por diferentes visões que podem ser observadas na Tabela 2.3. Apesar dos vários conceitos, todos abarcam os aspectos físicos e

climáticos como parâmetros de delimitação e a análise integrada dos aspectos se encaixam no contexto da gestão ambiental atendendo aos estudos com diferentes abordagens.

Tabela 2.3 – Conceitos de bacias hidrográficas

<b>AUTOR</b>	<b>ANO</b>	<b>CONCEITO</b>
Villela e Mattos	1975	Área onde a precipitação é coletada e conduzida para seu sistema de drenagem natural isto é, uma área composta de um sistema de drenagem natural onde o movimento de água superficial inclui todos os usos da água e do solo existentes na localidade.
Lima	1976	Área de captação natural, que drena para um curso principal, incluindo a área de divisor topográfico e de saída da bacia.
Antón	1996	Ecossistemas terrestres por meio do qual as águas superficiais e subterrâneas se movem para um caminho únicontido.
Rocha	1997	Área que drena as águas de chuvas por ravinas, canais e tributários, para um curso principal, com vazão efluente convergindo para uma única saída e desaguando diretamente no mar ou em um grande lago.
Tucci	1997	Área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída, compondo um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório.
Barella	2001	Conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático.
Tundisi	2003	Unidade geofísica bem delimitada, está presente em todo território, em várias dimensões, apresenta ciclos hidrológicos e de energia bem caracterizados e integra sistemas a montante, a jusante e as águas subterrâneas e superficiais pelo ciclo hidrológico.
Valeri et al.	2003	É a unidade de planejamento e gestão que proporciona o entendimento do solo, da água e da cobertura vegetal.
Postel e Thompson	2005	Área de terra que drena para uma fonte de água comum, abrangendo ecossistemas terrestres, aquáticos e costeiros, que executam uma variedade de serviços valiosos, incluindo o abastecimento e purificação de água doce, a prestação de habitat, a diversidade biológica, o sequestro de carbono, a recreação e o turismo. Na linguagem da economia ecológica, bacias hidrográficas são ativos naturais que proporcionam um fluxo de bens e serviços para a sociedade.
Porto e Porto	2008	Um ente sistêmico onde se realiza os balanços de entrada da chuva e saída de água através do exutório, permitindo delinear bacias e sub-bacias, com interconexão pelos sistemas hídricos.

Do ponto de vista de aplicabilidade técnica ou de gestão, as bacias possuem importância direta para a análise ambiental e representam a melhor forma de análise dos impactos antropogênicos sobre o território, ressaltando a intrínseca relação entre homem e

água ao longo de toda a humanidade e a necessidade da organização do território das bacias hidrográficas.

Dessa forma, o ordenamento territorial assegura a utilização sustentável dos recursos naturais, a redução de conflitos ambientais com o auxílio de propostas como a análise da fragilidade ambiental e a definição de cenários que estejam em consonância com a legislação ambiental e com os aspectos ambientais, político, econômicos, socioculturais e a participação dos diferentes agentes de decisão (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2009).

Nestas bacias hidrográficas, o ZEE deve ser considerado um instrumento relevante para o ordenamento territorial das atividades. Isto porque, uma utilização não controlada pelos órgãos competentes desencadeia uma potencialização de impactos ambientais e a utilização incoerente entre as características físicas das paisagens e a intensidade de uso e ocupação do solo, aumentando os riscos diretos a integridade física, social e econômica da população (ESTEVEZ et al., 2011).

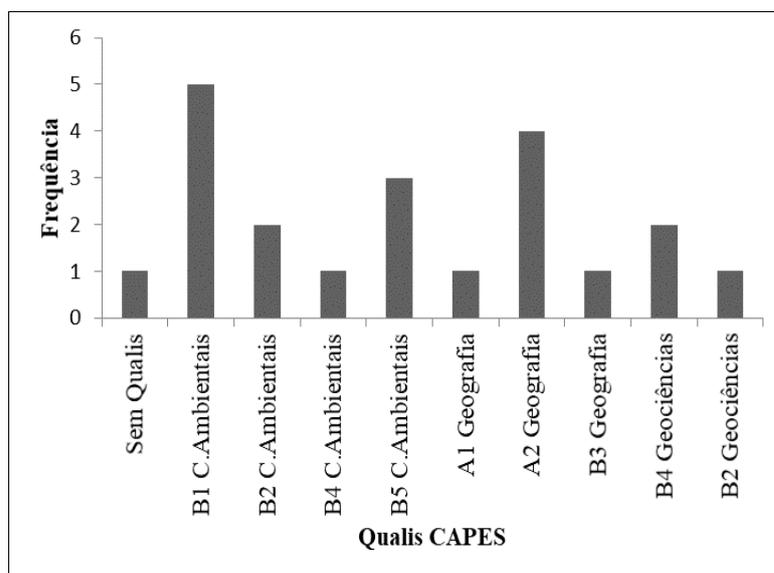
A elaboração do ZEE em bacias tem sido justificadas na área das ciências ambientais, por ponderar e projetar o uso do solo, as diretrizes e características que englobam a vulnerabilidade natural da paisagem, a aptidão agrícola dos solos e áreas de preservação permanente (APPs), considerando as atividades econômicas e sociais que se manifestam sobre a superfície terrestre (LIMA; REMPEL, 2007; OLIVEIRA; RODRIGUES, 2009; SILVA NETO, 2014). Neste sentido, os estudos estratégicos e a análise da potencialidade dos sistemas hídricos facilitam a compreensão da dinâmica de uso, auxiliando a determinação de cenários futuros que podem ser eficientes na gestão das bacias hidrográficas (TUNDISI, 2006; PADOVESI-FONSECA, 2010).

### **2.2.1 Caracterização dos estudos e pesquisas sobre ZEEs em bacias hidrográficas no Brasil**

A produção científica de ZEE em bacias hidrográficas ainda é incipiente quanto a elaboração e divulgação destas propostas, quando consideramos a sua importância para a gestão ambiental. No Brasil, observa-se uma maior ênfase de estudos a partir 2005.

Entre os 22 estudos realizados no Brasil a respeito do ZEE de bacias hidrográficas, o maior quantitativo de propostas encontram-se no formato de artigos científicos (10) e dissertações de mestrado (9). Os trabalhos de tese de doutorado foram contabilizados em 3 estudos. Os artigos foram publicados em periódicos distintos e suas respectivas qualificações podem ser observadas na Figura 2.2.

Figura 2. 2 - Qualificação dos periódicos.



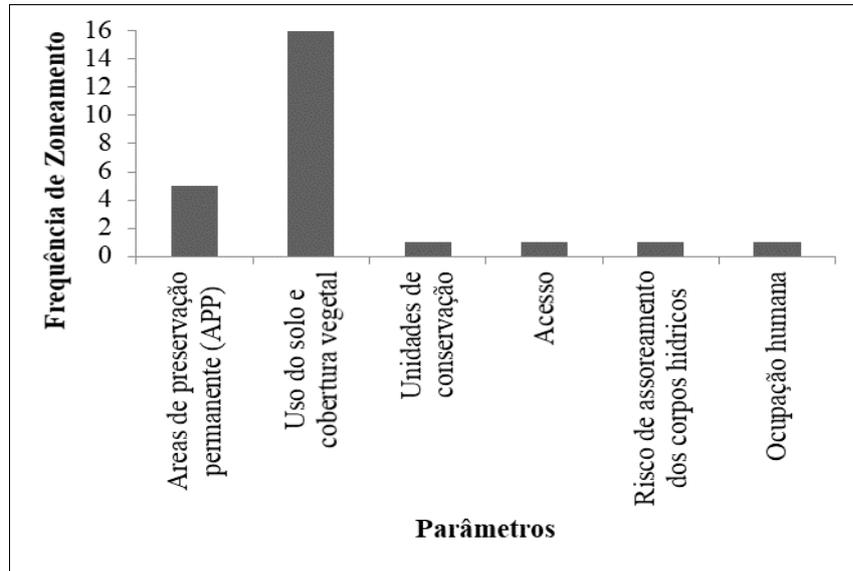
Fonte: Autoria Própria.

Os periódicos encontram-se qualificados na Plataforma Sucupira variando entre B1 a B5 para Ciências Ambientais, A1 e A2 para Geografia, B2 a B4 para Geociências. Apenas um periódico não apresentava qualificação.

Entre os estudos produzidos em Programas de Pós-Graduação, cinco deles estão concentrados na Área de Geografia e Geociências (1), Engenharias I (3), Ciências Agrárias I (2) e Biodiversidade (1). Destes, cinco foram desenvolvidos em Programas de Pós-Graduação em Geografia e os demais estão distribuídos em Programas de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Engenharia Florestal e Ambiental, Geociências e Meio Ambiente, Zoologia, Tecnologias Ambientais, Geotecnia e Ciências, ambos com uma proposta. O sul lidera o desenvolvimento destes estudos (7), seguido da região sudeste (6), centro-oeste (5), nordeste (3) e norte (1).

No que se refere aos parâmetros avaliados, para o Eixo da Paisagem, o mapeamento do uso era predominante em 16 estudos. As Áreas de Preservação Permanente (APPs) obtiveram um baixo destaque, apesar de ser considerada legalmente um parâmetro crucial para avaliação e conservação do território (Figura 2.3).

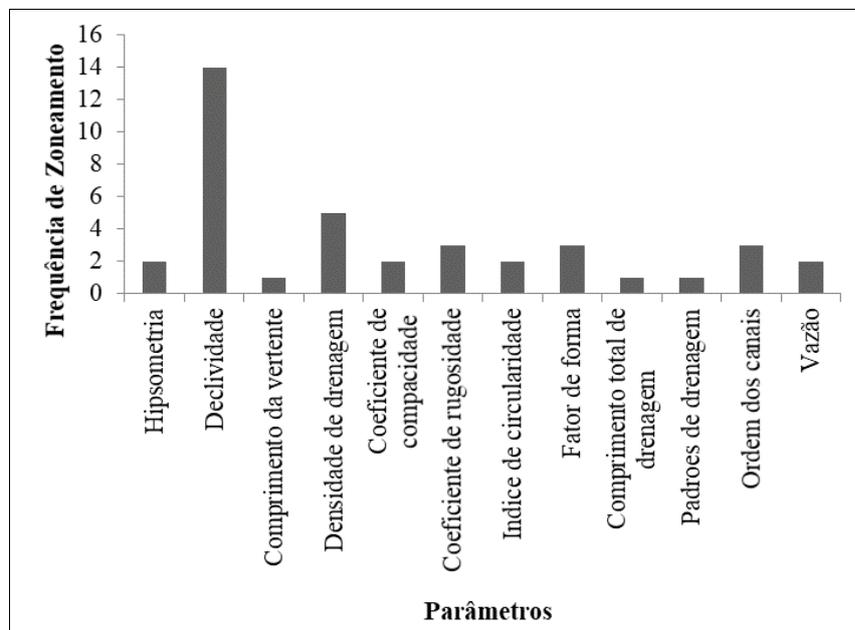
Figura 2. 3 - Parâmetros avaliados no eixo da paisagem.



Fonte: Autoria Própria.

Os parâmetros relacionados ao Eixo Morfométrico podem ser observados na Figura 2.4, o qual apresentou a declividade como o parâmetro mais usual.

Figura 2. 4 - Parâmetros avaliados no eixo morfométrico.



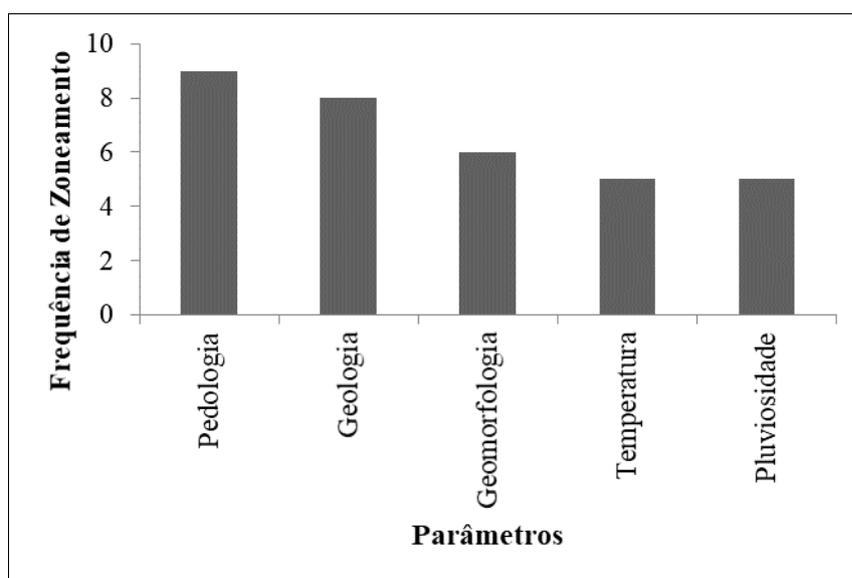
Fonte: Autoria Própria.

É relevante a ampla utilização deste parâmetro, já que o conhecimento do declive do terreno permite orientar a produção agrícola e a expansão urbana, bem como estabelecer

restrições de uso de áreas com declividade elevada e que estejam protegidas segundo o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012). Considerando o aspecto hídrico, parâmetros morfométricos de forma, densidade de drenagem e ordem dos canais mantiveram destaque, mostrando-se fatores importantes para o planejamento de enchentes e alagamentos.

Os parâmetros do Eixo do Meio Físico podem ser observados na Figura 2.5.

Figura 2. 5 - Parâmetros avaliados no meio físico.

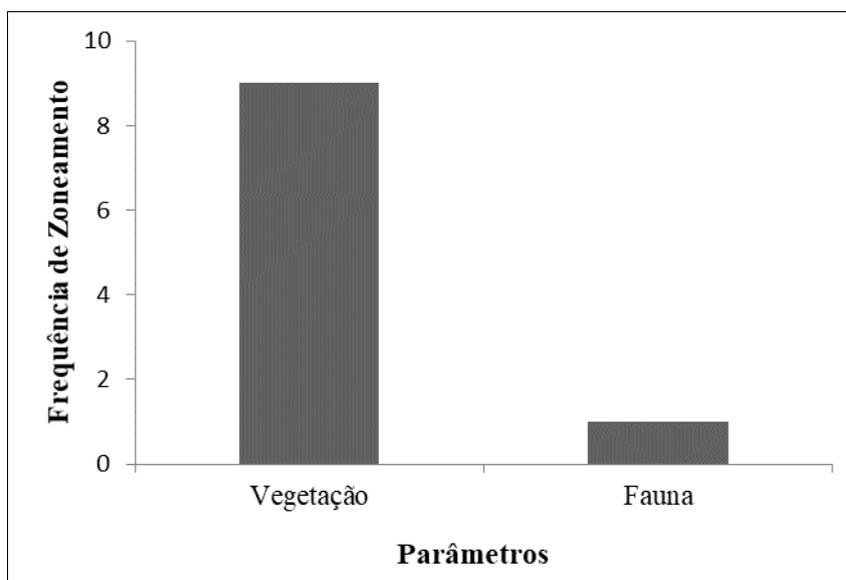


Fonte: Autoria Própria.

Estes parâmetros são amplamente investigados para as proposições de zoneamentos, pois os aspectos físicos foram, por muito tempo, considerados parâmetros suficientes para a elaboração das propostas. O uso de análises pedológicas, geológicas e geomorfológicas mostraram-se mais usuais enquanto a temperatura e a pluviosidade encontraram-se em cinco estudos, certamente pela sua importância no ciclo hidrológico incidente de uma bacia hidrográfica.

Quanto ao Eixo Biótico, a Figura 2.6 aponta que parâmetros deste setor são os mais escassos nas propostas de zoneamento de bacias hidrográficas. A vegetação foi incorporada apenas a 41% dos estudos, sendo influenciada pela realização do mapeamento do uso da terra que auxilia a inclusão desta análise.

Figura 2. 6 - Parâmetros avaliados no Eixo biótico.

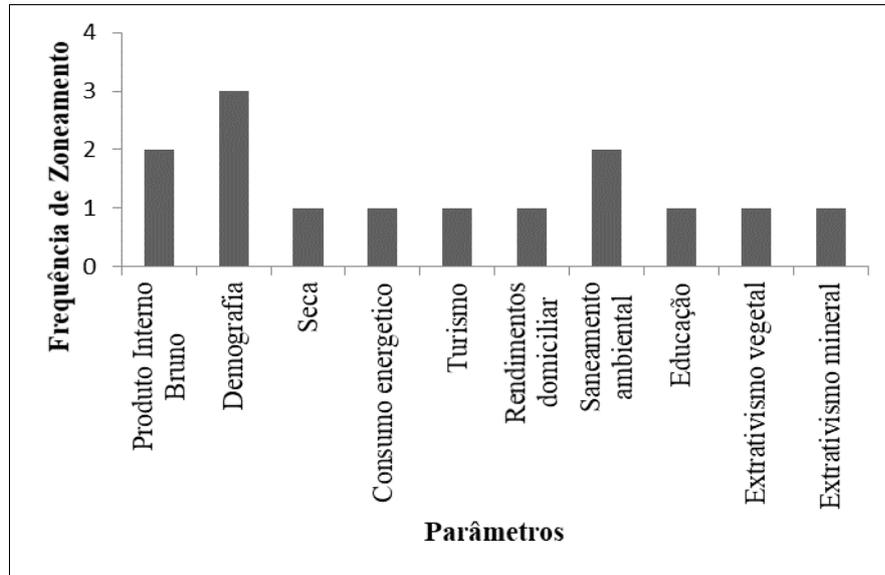


Fonte: Autoria Própria.

A fauna é o parâmetro de menor abundância dentre os levantados. Esse dado aponta para a deficiência da manutenção do inventário das espécies existentes na bacia hidrográfica e de medidas de conservação e organização do território para considerá-los como elementos do sistema ecológico-econômico.

O Eixo Socioambiental também é considerado uma setor negligenciado nos zoneamentos e o seu quantitativo pode ser observado na Figura 2.7. Embora tenha-se identificado dez parâmetros, somente 22% incluíram algum parâmetro social, econômico, de saúde ou cultural em suas análises, o que confirma a negligência do aspecto socioambiental para traçar propostas de zoneamentos que irão influenciar diretamente o modo de vida da população.

Figura 2. 7 - Parâmetros avaliados no eixo socioambiental.

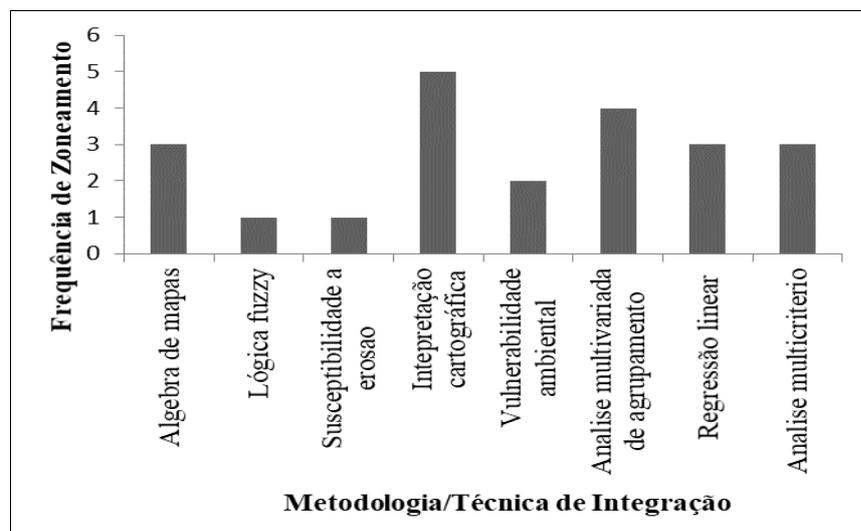


Fonte: Autoria Própria.

Devido a importância da água, o quantitativo populacional e o saneamento ambiental imperam como aqueles mais investigados, enquanto no setor econômico o produto interno bruto também foi avaliado. Pode-se observar a inclusão de avaliações individuais de rendimento da economia, educação, extrativismo e situação de seca.

Na figura 2.8 são apresentadas as técnicas utilizadas em zoneamentos avaliados no país.

Figura 2. 8 - Metodologias e técnicas de integração dos parâmetros.



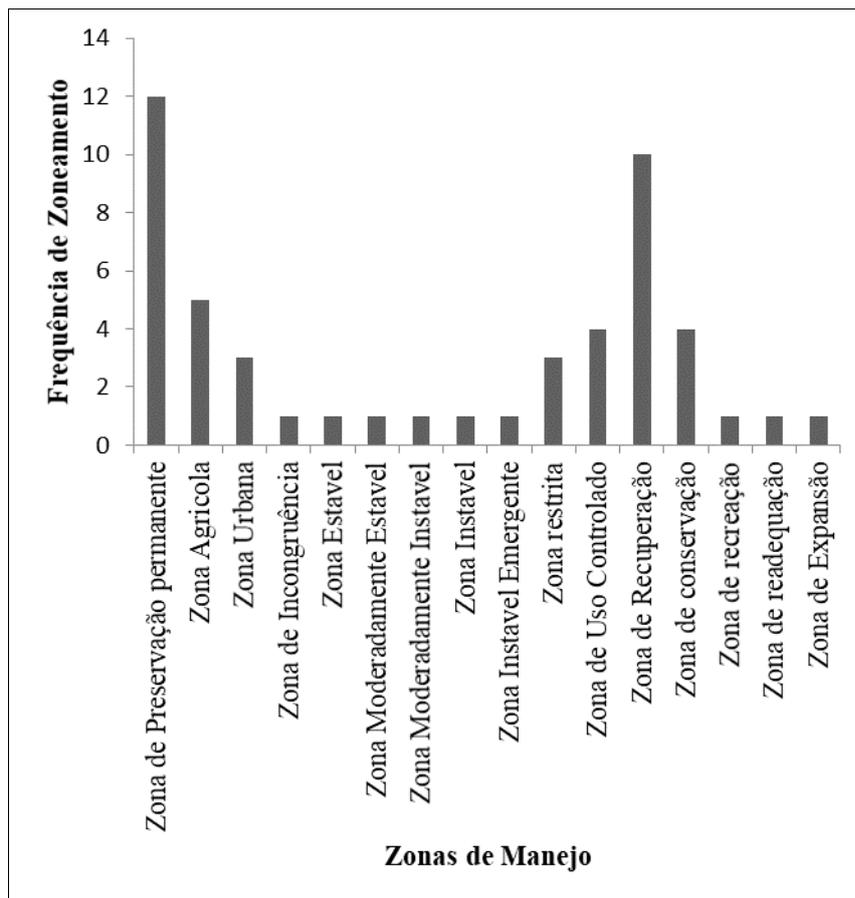
Fonte: Autoria Própria.

A interpretação cartográfica tem se mostrado a principal forma de obtenção do zoneamento, sendo definida como uma avaliação subjetiva de organização do tipo de uso em zonas de manejo.

O uso de regressão e análise multivariada, a álgebra de mapas e a análise multicritério são igualmente requisitadas. Esta última, permite um debate entre equipe e especialistas para avaliação da importância de cada parâmetro, critério e zonas estabelecidas. Por muitas vezes, a análise multicritério é vista como de difícil manuseio para obtenção de diagnósticos, mas embora pareça complexa, o maior entrave é o conhecimento prático do *software* utilizado.

Nos zoneamentos investigados, há uma série de zonas de manejo delimitadas de acordo com as características e peculiaridades locais, conforme observado na Figura 2.9.

Figura 2. 9 - Zonas de manejos estabelecidas nos zoneamentos.



Fonte: Autoria Própria.

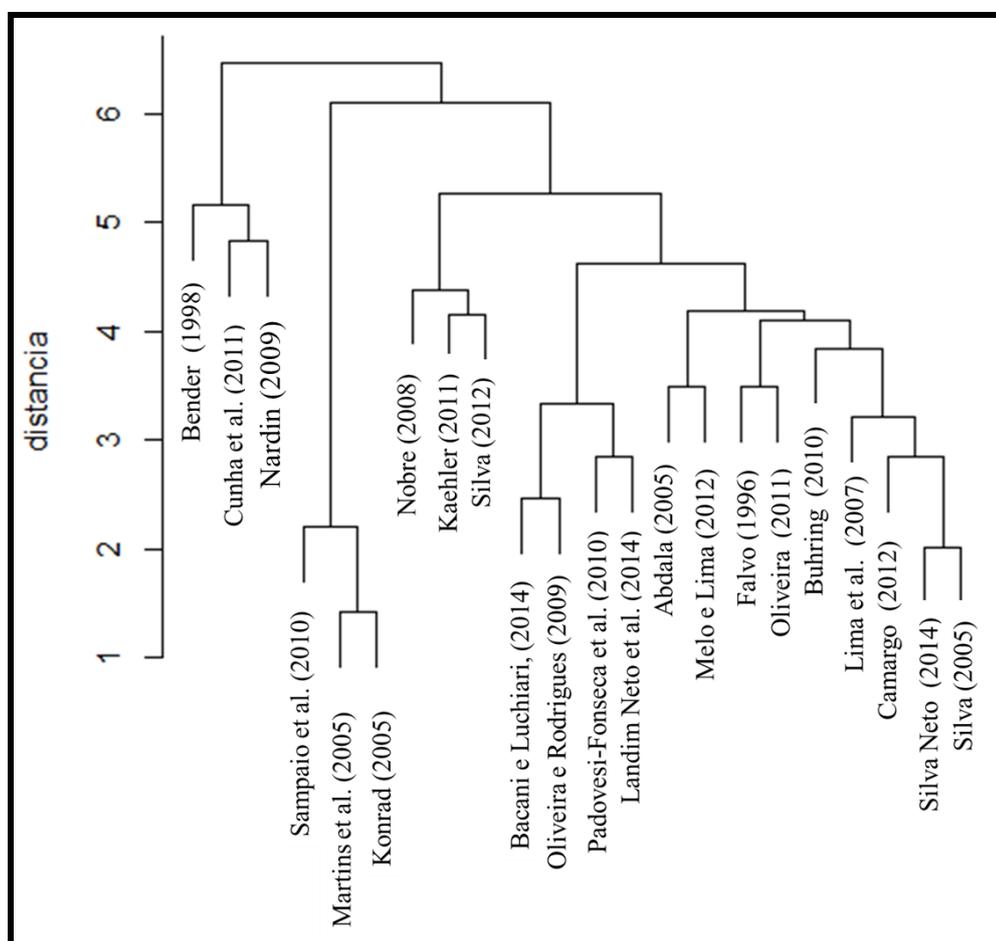
Embora a zona de preservação permanente esteja como um dos parâmetros do eixo da paisagem menos investigados, essa foi a zona que apresentou o maior destaque nos estudos.

Seis estudos não mencionaram a sua execução, mas delimitaram-a como uma zona de manejo. Em seguida, encontram-se a zona agrícola e a zona de recuperação.

Ambas as zonas demonstram o objetivo a que se propõe o zoneamento enquanto instrumento orientativo da gestão ambiental, buscando o desenvolvimento local, o indicativo da recuperação de áreas com alto impacto antrópico e o direcionamento de esforços para a conservação do território.

A Figura 2.10 apresenta o dendograma de dissimilaridade (ou semelhança) dos estudos sobre zoneamento em bacias hidrográficas.

Figura 2. 10 - Dendograma de dissimilaridade dos ZEE de bacias hidrográficas.



Fonte: Autoria Própria.

Entre 1996 e 2014 as propostas de zoneamento utilizaram diferentes parâmetros, negligenciaram outros de relevante interesse para o ordenamento territorial e valorizou demasiadamente parâmetros físicos-bióticos. No entanto, suas discussões tem indicado um

amadurecimento do ZEE como instrumento efetivo da gestão ambiental brasileira focado na harmônia entre o desenvolvimento e a conservação.

Há uma observância clara destes caminhos quando o processamento dos estudos apontavam para zoneamentos na perspectiva da fragilidade ambiental e a ênfase no potencial de erosão, domínios pedológicos e geológicos. Atualmente, pode-se observar zoneamentos que consideram a conservação dos recursos naturais em um contexto amplo e a integração de valores econômicos e ecológicos para o desenvolvimento sustentável da bacia.

É possível destacar a dissimilaridade através da formação de dois agrupamentos. No primeiro, os trabalhos de Bender (1998), Cunha et al. (2011) e Nardin (2009) apresentaram a maior semelhança. O segundo agrupamento encontra-se dividido em outros subagrupamentos, confirmando a distinção dos estudos investigados e a fraca correlação entre eles, dada pela baixa presença de parâmetros similares nas propostas. Esse resultado pode ser justificado pela necessidade de adequar as metodologias às áreas avaliadas, ocorrendo a necessidade de enfatizar diferentes características e parâmetros de avaliação nas propostas.

As teses de Bender (1998) e Silva (2005) apresentam a maior distinção em seus processos metodológicos. Investigando as possíveis dissimilaridades, observou-se que o estudo de Silva (2005) apresentou uma análise baseada em poucos parâmetros e desconsiderou aspectos bióticos e socioambientais no processo.

O estudo de Bender (1998) é o mais robusto quanto a investigação de parâmetros discutidos e defendidos para o ZEE de bacias. Apesar do estudo estar entre os mais antigos, pode-se considerar que o mesmo apresentou um relevante contribuição para alcance de zoneamentos condizentes com a realidade dos territórios de bacias hidrográficas.

### **3. Notas resumidas sobre o ZEE no Brasil**

O ZEE é um instrumento auxiliador do ordenamento territorial dos territórios brasileiros. A elaboração de propostas de ZEE devem considerar critérios, parâmetros e métodos consistentes que promovam o conhecimento dos atributos socioambientais e, a partir da sua integração, permitam delimitar zonas de manejo de efetivo auxílio para a gestão ambiental do território.

Vale ressaltar que o ZEE é orientativo e não uma determinação de uso da terra, o que justifica também, o caráter dinâmico e de revisão sistemática. Neste ponto, possuir diretrizes efetivas para elaborar, implementar, avaliar e revisar o ZEE sinaliza um ganho para a efetividade do mesmo. Além disso, influencia aspectos do desenvolvimento através de

indicadores e índices que condensam informações que norteiam, monitoram, acompanham e avaliam o território (BUTSIC et al., 2010; PEREIRA et al., 2011).

Com o ZEE, é possível orientar a formulação de políticas públicas setoriais com maior precisão e consistência, orientar decisões no âmbito da gestão do território, ações governamentais e não governamentais, contratos entre iniciativas públicas e privadas e servir de referência para ações judiciais de caráter público (PEREIRA et al., 2011).

O ZEE é um instrumento de diagnóstico do uso do território visando assegurar o desenvolvimento sustentável que divide a terra em zonas, onde são definidas potencialidades econômicas, fragilidades ecológicas e as tendências de ocupação, incluindo as condições de vida da população. Ao tratá-lo como instrumento efetivo de ordenamento, o Brasil afirma a sua relevância no cenário da avaliação ambiental integrada (BARROS, 2015).

---

## **CAPÍTULO III**

### **Diretrizes metodológicas para o zoneamento ecológico-econômico de bacias hidrográficas**

---

#### **Resumo**

Este capítulo apresenta um conjunto de diretrizes propostas para o processo de elaboração do ZEE de bacias hidrográficas. Considerando a ausência de documentos deste tipo para balizar pesquisadores, gestores e multiprofissionais para a gestão de bacias hidrográficas, buscou-se indicar os caminhos para a elaboração das propostas, a partir de parâmetros, métodos e técnicas para a avaliação dos atributos, agrupados em cinco eixos principais: eixo da paisagem, eixo morfométrico, eixo físico, eixo biótico e eixo socioambiental. As diretrizes apresentam a sistematização dos zoneamentos de bacias hidrográficas divulgados em periódicos científicos, dissertações e teses de programas de pós-graduação no país e discutem as fases de diagnóstico, prognóstico e implementação do ZEE. Espera-se que este documento seja utilizado como suporte para atender a demanda da gestão de bacias hidrográficas, considerando que as informações contidas aqui se destacam pela especificidade de aplicação à realidade destes territórios.

**Palavras-chave:** Normatização. Ordenamento Territorial. Análise Espacial.

#### **1. Métodos**

Foi proposta uma sequência de objetivos gerais e específicos, princípios, diretrizes gerais e específicas e etapas de execução do ZEE na forma de diretrizes metodológicas, fundamentadas na possibilidade de servir como referência para a elaboração de propostas de zoneamentos através de direcionamentos específicos para a realidade de bacias hidrográficas. Estas diretrizes contou com a compilação das técnicas e métodos e tipologias de zonas de manejo disponíveis nos estudos científicos avaliados e apresentados detalhadamente no Capítulo II e também foram incorporadas as legislações ambientais pertinentes à gestão de recursos hídricos e do uso da terra.

#### **2. Resultados e Discussão**

##### **2.1 Diretrizes metodológicas**

Com base na identificação das características dos estudos realizados no âmbito das bacias hidrográficas, além do aparato jurídico que incidem sobre as concepções de gestão de recursos hídricos, uso da terra e conservação dos recursos naturais, foram delimitados um conjunto de diretrizes compostas por objetivos gerais e específicos, princípios, diretrizes gerais e específicas e etapas de execução de elaboração do ZEE.

### *2.1.1 Objetivo geral das diretrizes*

Auxiliar o desenvolvimento do zoneamento ecológico-econômico em bacias hidrográficas, a partir de instruções e o indicativo de parâmetros, técnicas e métodos de avaliação dos atributos da paisagem, morfométricos, físicos, bióticos e socioambientais capazes de subsidiar a elaboração de propostas concisas e adequadas a plena conciliação do desenvolvimento socioeconômico e conservação ambiental.

### *2.1.2 Objetivos específicos das diretrizes*

- Indicar a utilização de parâmetros para a análise ambiental integrada, baseando-se em características da paisagem, morfométricas, físicas, bióticas e socioambientais;
- Indicar a utilização de técnicas adequadas a avaliação de parâmetros diversificados, com base no levantamento das principais técnicas utilizadas em estudos no país;
- Indicar a utilização de métodos de integração de dados espaciais dos parâmetros avaliados, com base no levantamento das técnicas utilizadas em estudos no país e do indicativo de metodologias simplificadas;
- Subsidiar a montagem e organização de banco de dados espaciais, de amplo acesso e facilidade de uso, com informações primárias e secundárias, capazes de auxiliar a elaboração de propostas de ZEE;
- Auxiliar a delimitação e caracterização das zonas de manejo, a partir da indicação das principais zonas de manejos incorporadas a ZEEs realizados no país;
- Auxiliar a identificação, com base nas características técnicas avaliadas, as potencialidades e os conflitos socioambientais das atividades que ocorrem sobre a bacia hidrográfica;
- Subsidiar mecanismos de sistematização das informações existentes, a partir da caracterização das zonas de manejo que ordenarão as atividades da bacia hidrográfica;
- Indicar as legislações de âmbito nacional, regional e local, que embasam a ocupação, conservação e preservação do território, servindo de referência para a implementação de propostas de ZEE em bacias hidrográficas.

### 2.1.3 Princípios

Os princípios visam orientar a delimitação de propostas factíveis, exequíveis e auxiliares no planejamento e na conservação destes territórios. São considerados princípios básicos:

- O estudo do uso da terra e a identificação dos seus impactos devem compor a análise basal do ZEE;
- A ocupação urbana e a utilização dos recursos naturais da bacia devem estar de acordo com o Plano de Diretor Municipal e com legislações norteadoras destas ações, quando for o caso;
- Deve-se assegurar o desenvolvimento socioeconômico e a conservação ambiental da bacia hidrográfica, buscando a qualidade de vida da população;
- O desenvolvimento das atividades na bacia hidrográfica requer a existência de infraestrutura mínima, visando o baixo impacto ambiental e a garantia da sustentabilidade local;
- Deve-se buscar a atuação conjunta entre poder público, ONGs, sociedade civil e comitês de bacias que possuam objetivos comuns de atuação sobre a bacia hidrográfica;
- A manutenção da integridade ambiental e cultural é essencial para sustentar a qualidade de vida e os benefícios econômicos dentro do território das bacias hidrográficas;
- A implementação do ZEE deve buscar a excelência socioambiental nas atividades existentes, o seu monitoramento e fiscalização.

### 2.2.3 Diretrizes Gerais

São diretrizes gerais para estimular o desenvolvimento de propostas de ZEE em bacias hidrográficas:

- O ZEE deve apresentar caráter norteador das atividades que ocorrem sobre a bacia hidrográfica, indicando a sua pertinência ou restrição;
- O ZEE deve apresentar caráter indicativo das ações de manejo, utilização sustentável e formas de melhoria das atividades existentes;

- O ZEE deve apresentar caráter propositivo da criação de projetos, programas e políticas que subsidiem a conservação ambiental e o desenvolvimento cultural e socioeconômico;
- O ZEE deve apresentar caráter dinâmico, devendo ser revisto periodicamente, buscando a atualização de suas zonas, avaliações de seus atributos ambientais, a efetividade, a avaliação e formulações de novas metas, juntamente com a atualização da proposta em prazo estabelecido pelo executor e sua equipe;
- Buscar a integração das políticas, programas e legislações de abrangência da bacia, tornando efetiva a sua execução;
- Prever a readequação de atividades dentro de outras zonas, quando ocorrer o estabelecimento de zonas de recuperação ou similar;
- Incentivar a realização de estudos e pesquisas científicas no interior da bacia hidrográfica, subsidiando a compreensão e a expansão do banco de dados de informações locais;
- Considerar os resultados de pesquisas científicas, levantamentos e monitoramento dos impactos para definição das zonas de manejo e de suas ações;
- Promover a capacitação continuada da equipe responsável pela implementação do ZEE, no que diz respeito às técnicas de manejo, monitoramento, manutenção, atendimento ao público e formação em educação ambiental;
- Desenvolver e implementar ações para a gestão efetiva da bacia hidrográfica, a fim de assegurar que os usos e as atividades realizadas sejam condizentes com as normas específicas para cada zona de manejo e previsão de redução dos impactos negativos sobre os recursos;
- Buscar o estabelecimento de infra-estrutura adequada e equipamentos para a implementação das ações propostas através de auxílios dos órgãos envolvidos;
- Desenvolver mecanismos eficientes para a disposição e o tratamento dos resíduos sólidos produzidos no interior da bacia hidrográfica;
- Promover e fortalecer a participação dos atores sociais interessados no planejamento e gestão ambiental;

- Incentivar a discussão de novas abordagens gerenciais, formativas e metodológicas, subsidiando a formação de dossiê para a execução da revisão do ZEE;
- Considerar as potencialidades e vocações da bacia hidrográfica e do seu entorno;
- Promover parcerias com instituições do governo, da sociedade civil organizada, da iniciativa privada e de instituições de ensino e pesquisa para alcançar os objetivos de manejo previstos no ZEE;
- Incentivar o serviço voluntário, políticas de estágio e capacitação no monitoramento das ações previstas no ZEE, possibilitando a formação profissional de estudantes de ensino técnico, superior e pós-graduação na área da gestão ambiental;
- Compreender a diversidade populacional no interior da bacia hidrográfica, procurando atendê-las de forma estratégica, minimizando os conflitos existentes;
- Promover a divulgação do ZEE, sua definição, importância, objetivos e funcionalidades, permitindo o conhecimento da população sobre as ações e as previsões futuras em âmbito local;
- Disponibilizar de forma online e gratuita a divulgação do conteúdo e ações do ZEE.

#### *2.2.4 Diretrizes Específicas*

- Quanto ao objetivo do ZEE da bacia hidrográfica: o objetivo deve ser o de ordenar as atividades que ocorrem sobre o território da bacia, com base em avaliação técnica dos atributos ambientais, orientando o uso adequado da bacia, o desenvolvimento socioeconômico, a conservação ambiental local e a qualidade de vida da população.
- Quanto a equipe: o ZEE denota o conhecimento técnico em várias áreas do conhecimento. Faz-se necessário, mas não obrigatório, o envolvimento direto ou indireto de profissionais de diversas áreas, subsidiando a análise técnica dos atributos socioambientais.

Pode ser considerada como equipe, todos os profissionais convidados, contratados ou pertencentes a empresas, laboratórios e órgãos que façam avaliações das características da bacia. Um profissional central pode ser designado para a função de organização, análise e gerenciamento dos dados, além da proposição das zonas de manejo, enquanto os demais profissionais atuam de forma indireta.

- Quanto a estratégia de elaboração: deve-se delinear a proposta do ZEE, a mobilização de recursos, órgãos e entidades envolvidas e o cronograma de execução do trabalho com prazos para levantamentos e análise das informações, cenários e sua implementação.
- Quanto a fase de diagnóstico: consiste no levantamento de informações técnicas para a caracterização dos atributos e a definição das zonas de manejos. Essa fase demanda o conhecimento técnico e a organização de uma base cartográfica de apoio, da definição de parâmetros de análises e do levantamento de informações locais para a caracterização da bacia hidrográfica.

Base Cartográfica: como procedimento inicial da fase de diagnóstico, deve-se organizar uma base cartográfica de apoio à análise dos parâmetros que integrarão o ZEE, com a identificação de informações planimétricas e altimétricas. É válido o levantamento de estudos e monitoramentos realizados na bacia de interesse.

Para a construção da base cartográfica, indica-se a utilização de cartas topográficas e a vetorização de suas características, obtidas através de institutos e órgãos especializados, além do contato prévio com prefeituras para obtenção destas informações. Há ainda, a possibilidade de obtenção por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) mantidos por estados.

Para todo o país, há a possibilidade de obtenção destas informações através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) permitindo a aquisição de informações em diferentes escalas.

No caso do Estado de São Paulo, o SIG Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo (SIG DataGeo) dispõe de uma série de informações de apoio, inclusive das cartas topográficas em formato digital originárias do Instituto Geográfico e Cartográfico. Para o Estado de Goiás, o Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG) dispõe de informações espaciais de apoio para a construção da base cartográfica. O Estado da Bahia possui a Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI-BA) e o SIG GEOPÓLIS que podem auxiliar na obtenção de dados preliminares.

Parâmetros: os parâmetros que serão escolhidos para a execução da proposta de ZEE devem abranger uma gama suficiente de informações para caracterizar a bacia hidrográfica. Há nestas diretrizes o indicativo de parâmetros em cinco eixos principais: Eixo da paisagem, Eixo morfométrico, Eixo físico, Eixo biótico e Eixo Socioeconômico.

A partir destes eixos deve-se proceder a análise de aspectos qualitativos e quantitativos, a partir dos seguintes questionamentos:

I) Quais as variáveis podem auxiliar um ordenamento territorial para a bacia estudada?

II) Qual o grau de precisão e detalhamento para compreender as características da bacia?

É importante salientar, que a eficácia de uma proposta de zoneamento está relacionada a seleção de variáveis que contemplem uma análise ambiental integrada. Embora algumas características possam não ser integradas no âmbito espacial, quando da delimitação do ZEE, estas podem auxiliar na caracterização, diagnóstico e delimitação das etapas do processo.

Nos Quadros 3.1 a 3.5 são indicados os parâmetros que podem auxiliar tais propostas baseando-se nas já existentes e na inclusão de outros parâmetros investigados neste estudo.

Quadro 3. 1 - Parâmetros que compreendem o eixo da paisagem.

<b>PAISAGEM</b>	
<b>PARÂMETROS</b>	<b>VARIÁVEIS</b>
Uso da terra e Floresta	Mapeamento do uso da terra e floresta
	Vias de acesso
	Localização de unidades de conservação
Áreas de Preservação Permanente	Apps de rios
	Apps de nascentes
	Apps de topos de morros, montanhas e vales
	Apps de lagos, lagoas e reservatórios
	Apps de declividade
Exposição Antrópica	Índice de transformação antrópica
	Indicador de exposição antrópica de bacias hidrográficas

Quadro 3. 2 - Parâmetros que compreendem o eixo morfométrico.

<b>MORFOMÉTRICO</b>	
<b>PARÂMETROS</b>	<b>VARIÁVEIS</b>
Características geométricas	Área total da bacia (A)
	Perímetro total da bacia (P)
	Comprimento da bacia (L)
	Largura da bacia
	Altitude média da bacia
	Declividade média
	Coefficiente de compactidade (Kc)
	Coefficiente de rugosidade
	Índice de circularidade (Ic)
	Fator de forma (Kf)
Características da rede de drenagem	Ordem dos cursos
	Comprimento total dos cursos d'água
	Comprimento do curso d'água principal
	Comprimento direto do curso principal
	Densidade de drenagem

Características hidrologicas	Altitude inicial do curso principal
	Altitude final do curso principal
	Coefficiente de sinuosidade
	Tempo de concentração (Tc)
	Declividade
	Orientação do relevo
	Sombreamento
Comprimento da vertente	

Quadro 3. 3 - Parâmetros que compreendem o eixo do meio físico.

<b>MEIO FÍSICO</b>	
<b>PARÂMETROS</b>	<b>VARIÁVEIS</b>
Solos	Textura do solo
	Tipos de solos
	Matéria Orgânica
	Porosidade do solo
Geologia	Formações geológicas e litológicas
Geomorfologia	Tipos de relevo
	Área de risco a inundação e escorregamento
	Risco a erosão
Clima	Precipitação anual
	Temperatura
Hidrografia	Índice de qualidade da água (IQA)
	Proteção por APPS
	Consumo de água para abastecimento urbano, agrícola e industrial
	Quantidade de esgoto doméstico e industriais lançados na bacia

Quadro 3. 4 - Parâmetros que compreendem o eixo do meio biótico.

<b>MEIO BIÓTICO</b>	
<b>PARÂMETROS</b>	<b>VARIÁVEIS</b>
Flora/ Cobertura Vegetal	Composição e inventário da cobertura vegetal
	Qualidade da cobertura vegetal (NDVI)
	Forma, estrutura e distribuição de fragmentos naturais
	Área foliar da cobertura vegetal natural (IAF)
	Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI)
	Fluxo de carbono (CO2Flux)
	Fotossíntese (FAPAR)
	Espécies bioindicadoras
	Espécies raras, endêmicas e/ou em condição de extinção
	Introdução de espécies exóticas
	Área de sequestro de carbono
	Desmatamento/extração
	Reflorestamento de vegetação nativa
	Relação fragmentos e distância da hidrografia
	Relação fragmentos e hipsometria
Relação fragmentos e declividade	
Fauna	Composição e inventário da fauna
	Áreas de refúgio e reprodução de fauna
	Espécies bioindicadoras
	Espécies raras, endêmicas e/ou em condição de extinção

Quadro 3. 5 - Parâmetros que compreendem o eixo socioambiental.

<b>SOCIOAMBIENTAL</b>	
<b>PARÂMETROS</b>	<b>VARIÁVEIS</b>
Influência Social/Humana/ Econômica	Saneamento ambiental
	Infra-estrutura urbana
	Sáude
	Demografia (população total, tradicional, urbana e rural)
	Índice de pressão humana
	Situação fundiária
	Distância da área urbana/industrial de ambientes naturais
	Malha viária
	Consumo de água e disponibilidade em meses secos
	Conflitos por uso água entre usuários da bacia
	Produto Interno Bruto
	Produção e aptidão agrícola
	Tipos de Atividades Existentes
	Extração de espécies e produtos de áreas naturais
	Fontes poluentes e contaminantes de solo
	Fontes poluentes e contaminantes de água
	Distribuição do uso e ocupação do solo
	Existência de Indústria e potencial poluidor na bacia
	Domicílios com rede de água (DRA)
	Domicílios com rede de esgoto (DRE)
	Destino do lixo (LIX)
	Domicílios próprios e quitados (DP)
	Domicílios com rendimento entre 1 a 2 salários mínimos (DR)
Pessoas alfabetizadas (PA)	
Índice de Qualidade das Moradias (IQM)	
Índice de Inserção Social (IIS)	
Índice de Qualidade Socioambiental (IQSA)	
Influência política/ gestão e legislação	Planos, programas e projetos na bacia
	Legislação específica/Aplicação
	Gestão municipal
	Inserção no comitê estadual de bacia
	Fiscalização e gerenciamento da bacia

- Quanto a fase de prognóstico: Consiste da análise integrada dos parâmetros investigados. É a etapa onde se busca compreender a bacia hidrográfica como um sistema integrado de avaliação ambiental, com suas possibilidades, conflitos, direcionamentos e possibilidades de gestão. Neste momento, a definição de um cenário ambiental e a delimitação das zonas de manejo devem ser realizadas.

Cenário ambiental: O cenário ambiental consiste em uma etapa de análise subjetiva do gestor/pesquisador. A partir dela, o elaborador ou a equipe responsável pela proposta de ZEE deve avaliar os dados e descrever o maior número de características da bacia, sejam elas espaciais ou não, buscando fundamentar a inclusão dos usos e a compartimentação do território em zonas de manejo.

Dessa forma, o cenário ambiental é uma etapa em que cada unidade de uso da terra deve ser sobreposta às variáveis analisadas para a descrição detalhada das características, possibilitando a obtenção de dados consistentes para indicar a pertinência da atividade, sua regularidade e orientações futuras.

Zonas de manejo: As zonas de manejo do ZEE da bacia, consiste em etapas regulatórias que irão nortear a organização do território. Deve ser concebida pelos conhecimentos técnicos, geográfico e pela dinâmica local da área pelo pesquisador/equipe. Além disso, deve ser concebida a definição de zonas de fácil entendimento, não só a nível de gestão, mas para a população local.

Nesse aspecto, faz-se importante alguns questionamentos:

- I) Quais as atividades que ocorrem na superfície terrestre que se destacam no cenário avaliado e que devem ser as principais indicações para a definição das zonas?
- II) Como o zoneamento pode se tornar uma proposta homogênea para a adequação do território através das zonas estabelecidas?
- III) Há aspectos jurídicos que embasam a obrigatoriedade da conservação de áreas do território ou resguardem a sua possibilidade de uso ir(restrito)?

A partir destas condições, deve-se delimitar um conjunto de zonas que seja capaz de agrupar o uso da terra baseado no cenário realizado, buscando construir a proposta de ZEE.

Integração dos parâmetros e definição das zonas de manejo: a integração dos resultados para definição das zonas pode ser realizada a partir de sucessivas técnicas de integração e avaliação do território. São indicados no Quadro 3.6, os métodos/técnicas mais usuais neste processo. No último ítem do Quadro é indicada uma metodologia de integração utilizada no ZEE para a bacia do rio Una.

Quadro 3. 6 - Métodos e técnicas para auxílio na elaboração do ZEE.

<b>MÉTODOS E TÉCNICAS</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>
Algebra de mapas	Operações booleanas com limiares nítidos, rígidos, em que se obtém um produto derivado do cruzamento de duas ou mais variáveis.
Lógica fuzzy	Operação matemática que trabalha o princípio da incerteza, possibilitando a análise sem limites rígidos entre as variáveis analisadas.
Susceptibilidade a erosão	Procedimento de avaliação do potencial do território a apresentar níveis diferenciados de erosão com base na análise de variáveis pedológicas, geomorfológicas e do clima.
Intepretação cartográfica	Compartimentação da paisagem com base em características geoambientais e suas relações com atividades antrópicas.
Vulnerabilidade/ Fragilidade ambiental	Determinação da fragilidade do território a partir de variáveis de geologia, geomorfologia, dissecação do relevo, usos do solo e cobertura vegetal, definindo-se classes que variam de fragilidade muito fraca a muito forte ou de muito instável a pouco instável.
Análise multivariada de agrupamento	Procedimento de interpretação de variáveis qualitativa e quantitativas interdependentes, condensando as informações essenciais para o objetivo estabelecido.
Regressão linear	Estudo do comportamento de variáveis distintas e do grau de associação destas.
Análise multicritério	Método de síntese de multidimensionais, a partir de um conjunto de alternativas durante o processo decisório, através do ponderamento de pesos de importância das variáveis analisadas.
Análítica- agregativa (Metodologia de Integração desenvolvida neste estudo)	Procedimento de agrupamento das unidades de uso da terra em zonas de manejo, a partir dos parâmetros técnicos da paisagem, morfométricos, físicos, bióticos e socioambientais. A adequação às zonas, em âmbito espacial, deve ser realizada com análise de recorte, fusão, união e interseção. A utilização dessas ferramentas, dão suporte para a compilação das atividades do território da bacia, dentro das zonas, encorajando a execução de processos metodológicos simplificados, inclusive da necessidade de revisão e readequação do processo realizado.

A partir das zonas de manejo delimitadas e com auxílio das características técnicas do cenário ambiental, legislações, programas, projetos e de informações locais, deve-se estabelecer a caracterização de cada zona, delimitada pelo objetivo a que se destina, os usos, limites, potencialidades, conflitos ambientais e ações de manejos que darão suporte a execução da proposta.

- Quanto as legislações aplicáveis: no âmbito jurídico de propostas de ZEEs, a observância a legislação é um passo importante para reforçar a caracterização das zonas e delimitar legalmente a permissão ou restrição de atividades nos domínios da bacia hidrográfica. Destaca-se no conjunto das políticas ambientais nacionais:

Constituição da República Brasileira de 05 de Outubro de 1988: Promulga e assegura o exercício dos direitos sociais e individuais, à liberdade, à segurança, ao bem-estar, ao desenvolvimento, à igualdade e à justiça como valores supremos de uma sociedade fraterna, pluralista e sem preconceitos, fundada na harmonia social e comprometida, na ordem interna e internacional, com a solução pacífica das controvérsias.

Política Nacional de Meio Ambiente – Lei n. 6.938 de 31 de Agosto de 1981: Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei n. 9.433 de 8 de Janeiro de 1997: Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

Política Nacional de Educação Ambiental - Lei n. 9.795 de 27 de Abril de 1999: Dispõe sobre a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências.

Decreto 4297 de 10 de Julho de 2002: Regulamenta o art. 9o, inciso II, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências.

Código Florestal Brasileiro – Lei 12.651 de 25 de Maio de 2012: Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, n. 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e n. 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n. 4.771, de 15 de setembro de 1965, e n. 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n. 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.

Estatuto das Cidades – Lei n. 10.257 de 10 de Julho de 2001: Dispõe sobre a regulamentação dos arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.

No âmbito estadual, deve-se pautar naquelas fixadas em ratificar os acordos nacionais e a inclusão dos aspectos que norteiam as características peculiares a cada Estado. A nível estadual sugere-se a observância das políticas e suas correlatas a:

Política Estadual de Meio Ambiente

Política Estadual de Recursos Hídricos

Política Estadual de Educação Ambiental

Políticas Estaduais de Conservação da Biodiversidade

No âmbito municipal, há legislações específicas que norteiam o desenvolvimento das cidades e auxiliam a forma de organização territorial. Destaca-se neste ponto:

Lei Orgânica Municipal

Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano

Plano Ambiental Municipal

- Quanto a fase de implementação: posteriormente à elaboração do ZEE, é fundamental a execução da avaliação da proposta, tanto a nível de território quanto a nível institucional, com a consulta aos órgãos envolvidos e a sociedade. Importante que a avaliação culmine no indicativo de revisão da proposta a longo prazo.

Avaliação a nível territorial: deve-se realizar idas a campo para avaliar a funcionalidade da proposta construída, buscando a correspondência espacial e real das zonas de manejo, sendo revisada quando necessária.

Consulta aos órgãos e sociedade: a etapa de avaliação do ZEE através da comunidade local diretamente impactada trata-se de um atendimento ao princípio participativo do ZEE. Neste caso, deve-se articular junto aos órgãos, setores socioambientais, conselhos, prefeituras e empresas privadas de interesse no território, a realização de reuniões e oficinas para avaliar a funcionalidade da proposta elaborada e o atendimento aos diversos setores da sociedade.

Nesta fase, deve-se tratar a importância e a distribuição espacial de cada zona no território e os objetivos delimitados. Uma vez aprovada ou sugerida a mudança em algum aspecto da proposta, ratifica-se a importância de retornar o passo da integração dos dados e readequar as sugestões. É importante salientar a escolha por uma metodologia simplificada,

sem complexidade, permitindo que o processo seja reavaliado de forma ágil, evitando o desdobramento em análises mais complexas e maior tempo no processo.

A proposta deve ser aprovada, por consenso, pelos órgãos participantes e sociedade civil, de forma a contemplar a comunidade e seus anseios para garantia do ordenamento do território.

Quanto a gestão do território: a implementação e o monitoramento do ZEE representa o plano de ação para atribuir uma organização das atividades. Para isso, deve ser estabelecida uma equipe capacitada para execução da proposta, de modo a fiscalizar, monitorar, orientar e mediar os conflitos sobre as atividades, buscando atingir os objetivos em cada zona.

Nessa fase, sugere-se a construção de um cronograma de ação para desenvolver e articular as ações de manejo definidas na proposta. Com esse monitoramento, a elaboração de relatórios de acompanhamento devem ser realizados, permitindo reordenar a forma de trabalho e traçar novas metas para serem alcançadas.

Revisão e estado dinâmico do ZEE: a revisão da proposta deve ser realizada considerando as características de alteração do padrão de uso da terra e da distribuição das atividades ao longo do tempo. Indica-se que a equipe deve, com base no acompanhamento da proposta, avaliar o período necessário para a revisão no ZEE estabelecido.

Sugere-se que a revisão não ultrapasse o período de 10 anos, contemplando especialmente as áreas de recuperação, monitoramento e conservação, já que boa parte das áreas inseridas nestas zonas, devem ser as que apresentarão mudanças ao longo do tempo.

---

---

## CAPITULO IV

### Indicador de Degradação para Bacias Hidrográficas baseado na caracterização da paisagem e inferência fuzzy

---

---

#### Resumo

O estudo objetivou desenvolver um indicador de degradação para bacias hidrográficas (IDBH), utilizando aspectos quantitativos e qualitativos da paisagem, com ênfase no uso da terra, na cobertura vegetal e nas áreas de preservação permanente, utilizando a lógica fuzzy e geoprocessamento. O mapeamento do uso da terra, da cobertura vegetal e das áreas de preservação permanente foram realizados por interpretação visual da imagem satélite multiespectral ortorretificada do RapidEye do ano de 2013, com resolução espacial de 5 metros e validado com base em atividades de campo realizadas em 2016. O índice foi desenvolvido com a construção de um sistema de inferência fuzzy do tipo Mamdani, integrando informações referentes ao cálculo do índice de transformação antrópica e do índice de circularidade da bacia e de suas sub-bacias. A bacia apresentou treze classes de usos, com maior predomínio da área antrópica agrícola, ocupada por culturas temporárias em aproximadamente 3.472 hectares (36,33%). A cobertura vegetal possui maior predomínio de fragmentos florestais de floresta ombrófila densa que somam aproximadamente 3.589 hectares (37,05%). O indicador apresentou uma classificação entre média a alta exposição antrópica para a bacia, sendo a sub-bacia 8 a que apresentou degradação entre alta e muito alta. O IDBH é uma ferramenta confiável para análise da paisagem e eficiente para identificar a nível detalhado a degradação ambiental, podendo ser utilizado para áreas similares.

**Palavras-Chave:** Geoprocessamento. Uso da Terra. Sistema de Inferência.

#### 1. Métodos

##### 1.1 Base cartográfica de apoio

A base cartográfica foi construída a partir das informações das cartas topográficas do município de Ibiúna, com primeira edição no ano de 1978, em Projeção UTM, Referência Horizontal pelo Datum Córrego Alegre e Referência Vertical pelo Datum do Marégrafo de Imbituba, Meridiano Central de 45° e Fuso 23 em escala de referência de 1:10.000 (folhas: 094/096; 095/095; 095/096; 096/095; 096/096; 097/095; 097/096; 097/094 e 098/095). As cartas são originárias do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC) e obtidas gratuitamente em formato digital através do acervo da Infraestrutura de dados espaciais ambientais do Estado de São Paulo (DATAGEO) (IGC, 1978; DATAGEO, 2015).

Através de procedimentos de vetorização, extraiu-se as informações planimétricas (rodovias, ferrovias, hidrografia e área urbana) e as informações altimétricas (curvas de nível e pontos cotados) da área de estudo. Os limites da bacia hidrográfica e das sub-bacias foram

delimitados utilizando os vetores de hidrografia e de curva de nível da base cartográfica, conforme o perfil hipsométrico em torno da localização do rio Una e de seus afluentes.

As informações de drenagem e estradas foram retificadas através de trabalho de campo, realizado na área de estudo e por consultas à imagem satélite. Além disso, buscou-se atualizar o percurso do rio principal ao longo do seu exutório, considerando que existe uma influência da carga de sedimento sobre a dinâmica fluvial, causando uma alteração na estrutura morfológica e no seu percurso ao longo do tempo.

## 1.2 Mapeamento do uso da terra

O mapeamento foi realizado a partir da imagem multiespectral ortorretificada do satélite RapidEye do ano de novembro de 2013, cedidas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo por convênio com o Ministério do Meio Ambiente (MMA).

A imagem é derivada de sensores a bordo do sistema de satélite RapidEye que imageiam a superfície da Terra e possui um total de cinco bandas multiespectrais, sendo elas: vermelha, azul, verde, vermelho limítrofe e infravermelho próximo. Outras informações sobre as características do satélite podem ser observadas na Tabela 4.1.

Tabela 4. 1 - Especificações técnicas gerais dos satélites do sistema RapidEye

Número de satélites	5
Órbita	630 km
Largura da Imagem	77km largura / 1500km extensão
Tipo de sensor	Multiespectral
Bandas espectrais	440 – 510 $\mu\text{m}$ – Azul 520 – 590 $\mu\text{m}$ – Verde 630 – 685 $\mu\text{m}$ – Vermelho 690 – 730 $\mu\text{m}$ – Red Edge 760 – 850 $\mu\text{m}$ – Infravermelho Próximo
Tamanho do Pixel ortorretificado	5.0m
Resolução radiométrica	12 bits

As bandas espectrais foram importadas para o *software* ArcGis 10.3 (ESRI, 2014) e procedida uma composição verdadeira utilizando os canais RGB e as bandas na faixa espectral do vermelho, verde e azul, respectivamente. A composição foi sobreposta ao arquivo vetorial com o limite da bacia e o mapeamento foi realizado por interpretação visual e edição de vetores.

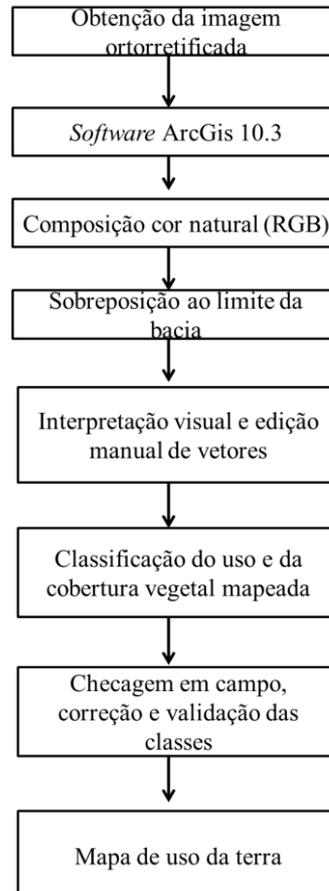
A interpretação visual requer que o usuário proceda a classificação dos usos com base nas feições identificáveis, que incluem forma (paralela, quadriculada, retangular); tamanho,

padrão, altura, sombreamento, tonalidade (quantidade de energia refletida por um objeto), textura (lisa ou rugosa, homogênea ou heterogênea), localização do objeto na paisagem e associação entre elementos que compõem a superfície terrestre (NARUMALANI; HLADY; JENSENS, 2002; PANIZZA; FONSECA, 2011).

O mapeamento foi realizado em escala 1:25.000, empregando-se as coordenadas planas, datum SIRGAS 2000 e fuso 23S. As suas classes, subclasses e unidades de uso e cobertura vegetal foram determinadas conforme o Manual Técnico de Uso da Terra e do Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012; 2013a).

A interpretação foi confirmada por trabalho e observações em campo, com auxílio de receptor GPS de navegação Garmim modelo Etrex Vista e câmera digital para checagem dos usos identificados e dos limites entre as classes de uso da área de estudo através da distribuição de uma malha de 35 pontos amostrais aleatórios diretos e 65 pontos aleatórios indiretos, sendo realizada as correções das classes quando necessário. Um esquema metodológico pode ser observado na Figura 4.1.

Figura 4. 1 - Esquema metodológico do mapeamento do uso da terra.



### 1.3 Determinação de áreas antrópicas e naturais

Com base no mapeamento do uso da terra, as atividades foram reclassificadas e quantificadas em duas novas classes:

Áreas naturais: correspondente às atividades naturais, com ausência de degradação ou potencial conflito e atendem ao Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012).

Áreas antrópicas: corresponde às atividades antrópicas ou de potencial degradação que incidem sobre a área.

### 1.4 Delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APPs)

A delimitação das APPs consistiu da identificação de áreas de hidrografia, nascentes, lagos e vertentes que atendem o Código Florestal Brasileiro, no que diz respeito a conservação dos recursos hídricos, e indica a união das áreas protegidas, coberta ou não por vegetação nativa, com a função de preservar os recursos hídricos, a paisagem e biodiversidade, além de facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar da população humana (BRASIL, 2012).

Para as APPs de hidrografia foram considerados os vetores referentes aos rios, lagos, lagoas, açudes, represas e reservatórios, gerando as faixas marginais de acordo com as medidas constantes em legislação (BRASIL, 2012). As faixas marginais dos cursos d'água foram obtida através da delimitação de *buffers* ou faixas marginais. Considerando que a largura máxima dos rios não ultrapassam 10 metros no perímetro da bacia, foi determinado a faixa marginal de 30 metros como largura das APPs dos cursos d'água. Para a definição das APPs de nascentes, foi adotada uma faixa de 50 metros de proteção, para os lagos, lagoas e reservatórios em área rural adotou-se 50 metros e na área urbana 30 metros.

Quanto a delimitação de APPs em áreas de onstas com declividade superior a 45 graus, foi construído um Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDT) com base na interpolação das curvas de nível e dos pontos cotados. Identificou-se a proporção entre desníveis e suas respectivas distâncias horizontais do terreno, selecionando as áreas com intervalos igual ou superior a 45 graus. Para a APP de topo de morro foram verificadas as áreas com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação em relação à base (BRASIL, 2012).

Todos os procedimentos foram realizados no *software* ArcGis 10.3 (ESRI, 2014).

### 1.5 Determinação dos conflitos ambientais em APPs

Por meio de ferramentas de consulta e intersecção foram selecionados os vetores de uso da terra que se enquadram dentro do território das APPs, buscando avaliar qualitativamente e quantitativamente a atual condição das áreas protegidas na área de estudo. Para quantificar os potenciais conflitos, foram calculados os percentuais de uso da terra ocorrentes no interior destas áreas.

### 1.6 Desenvolvimento do Indicador de Degradação de Bacias Hidrográficas (IDBH)

O IDBH teve por finalidade identificar um nível de degradação de uma bacia hidrográfica, com base na avaliação da paisagem e na forma morfométrica, por meio do Índice de Transformação Antrópica (ITA), do Índice de Circularidade (IC) e da sua integração pela teoria do sistema de inferência *fuzzy*.

O ITA, desenvolvido por Lèmechev (1982), objetiva identificar antropização incidente sobre uma área, com base na taxa de atividades do uso da terra. A determinação do índice é dada através da atribuição de pesos que variam de 1 a 10 para cada uso da terra, sendo o valor 10 o maior grau de alteração antrópica.

O IC é definido como um cálculo que avalia a semelhança da bacia hidrográfica ao aspecto de um círculo, de modo que, quanto mais próximo de 1, mais circular. As bacias hidrográficas circulares enquadram-se na perspectiva de riscos de enchentes e maior tempo de concentração da água em seu interior durante uma precipitação (TONELLO et al., 2006).

Considerando a razão de que a possibilidade de ocorrência de enchentes associada a uma alta antropização da bacia pode resultar no aumento da degradação da área, pode-se inferir que as bacias hidrográficas circulares e com áreas naturais reduzidas possuirão uma degradação de maior grau, pois estarão mais expostas à eventos extremos.

Para demonstrar a aplicabilidade do IDBH no planejamento ambiental de bacias hidrográficas, o desenvolvimento e a aplicação do índice foi realizado para toda a bacia e para as sub-bacias que a compõe, conforme delimitação indicada neste capítulo no item 1.1. Dessa forma, pode-se observar um resultado a nível geral e detalhado. O desenvolvimento do IDBH foi realizado da seguinte forma:

1- Determinação do ITA, calculado com base na atribuição de pesos que variam de 1 a 10 para cada uso da terra, sendo o valor 10 o maior grau de alteração antrópica. O ITA é definido pela equação abaixo, conforme Lèmechev (1982):

$$ITA = \sum(\%USO * PESO) / 100$$

Onde:

Uso = área em valores percentuais da classe de uso da terra;

Peso = peso determinado aos diferentes tipos de uso da terra quanto ao grau de alteração antrópica

Os pesos foram estabelecidos através de consultas à especialistas do Laboratório de Geoprocessamento do Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, obtendo-se a média ponderada dos pesos estimados para cada uso da bacia do rio Una e também para cada sub-bacia que a compõe.

2 – Determinação do IC, calculado com base na área e perímetro da bacia hidrográfica aplicando a equação abaixo, segundo Tonello et al. (2006):

$$IC = 12.57 \times A / P^2$$

Onde:

A – Área da bacia hidrográfica ou da sub-bacia em Km<sup>2</sup>

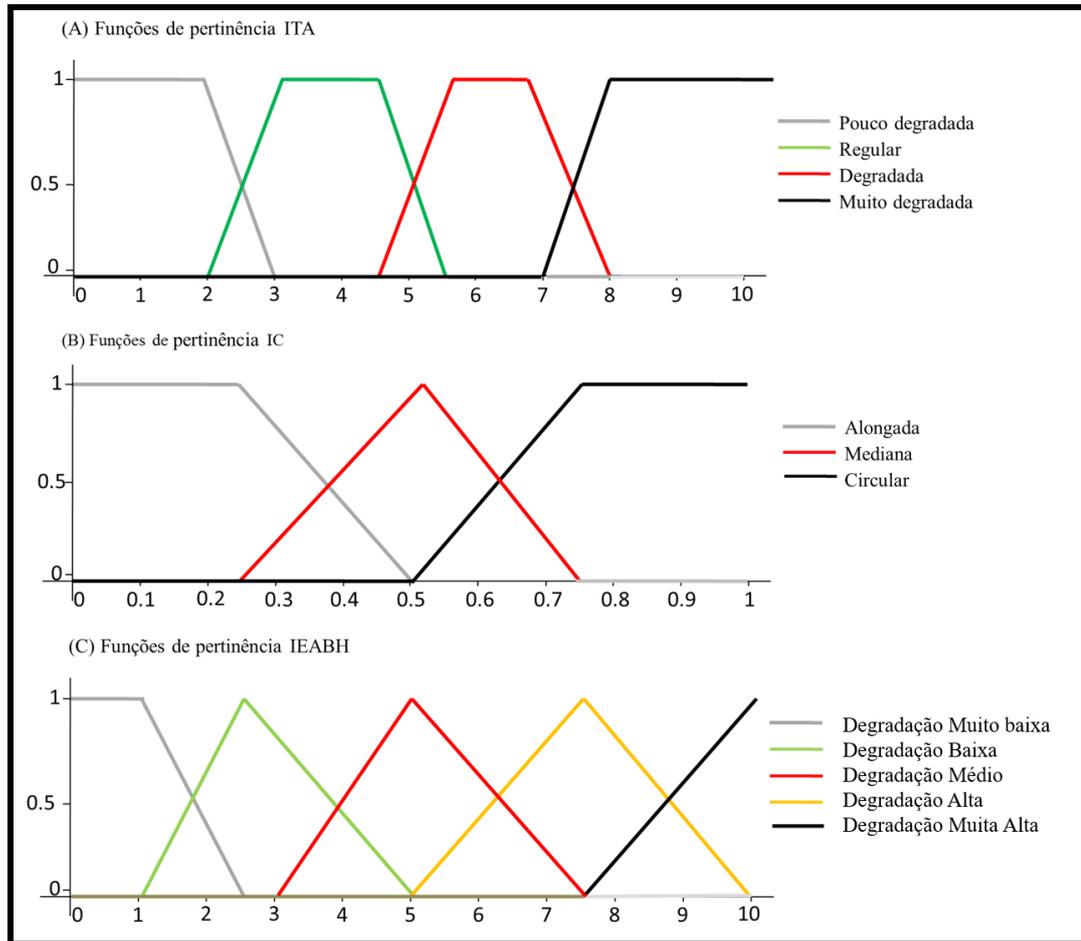
P – Perímetro da bacia hidrográfica ou da sub-bacia em Km

Os cálculos da área, do perímetro e do IC foram realizados em colunas adicionadas a tabela vinculada ao vetor do arquivo digital da bacia e das sub-bacias, através da ferramenta de cálculo da geometria presente no *software* ArcGis 10.3 (ESRI, 2014).

3 – Construção do Sistema Baseado em Regras *Fuzzy* (SBRF) para determinação do resultado final do IDBH

O sistema baseou-se no modelo de Mamdani, onde os índices foram interpretados por meio de variáveis linguísticas. O ITA foi definido como: Pouco degradada, Regular, Degradada e Muito degradada, através de funções de pertinência do tipo trapezoidal com intervalo de 1 a 10. Já o IC foi definido como bacia Alongada, Mediana ou Circular, através de funções de pertinência do tipo triangular com intervalo de 0 a 1, ambos implementados utilizando o Toolbox de Lógica Fuzzy no *software* MATLAB (THE MATHWORKS, 2014) (Figura 4.2).

Figura 4. 2 - Funções de pertinência.



Com bases nestas variáveis, foram construídas as doze regras de cruzamento das informações, oriundas das 4 variáveis linguísticas para o ITA e 3 para o IC (Quadro 4.1).

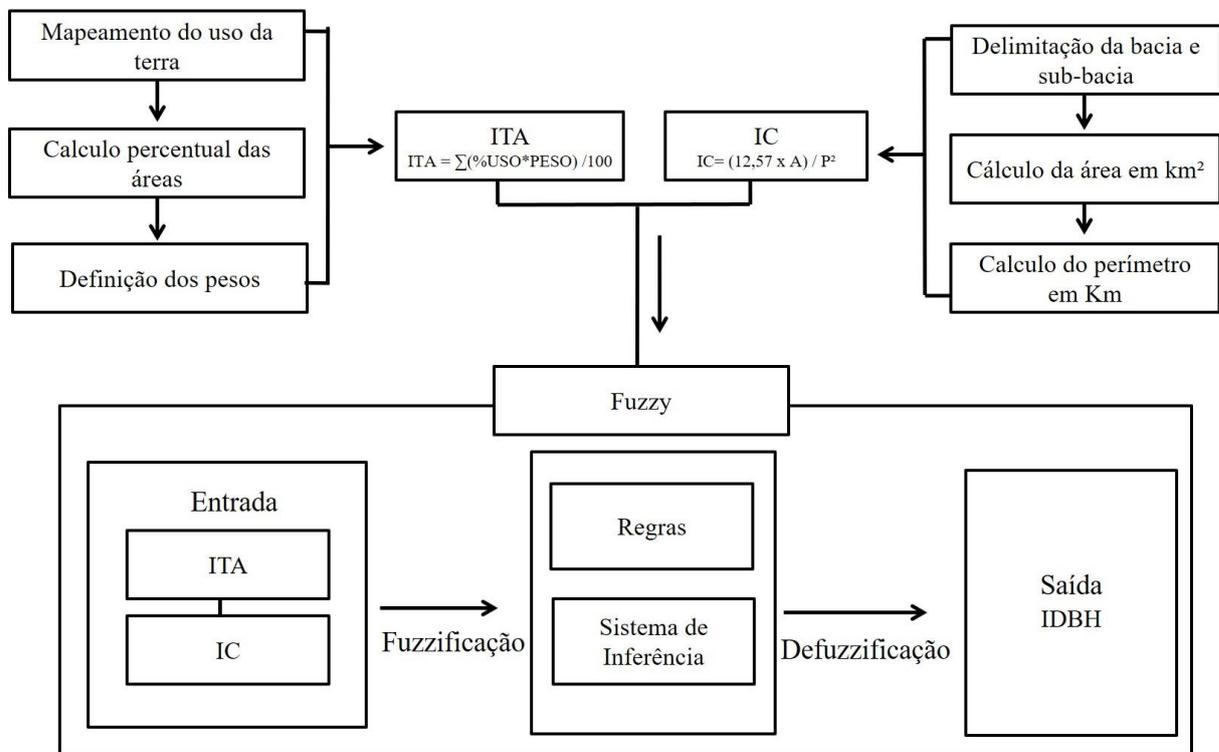
Quadro 4. 1 - Base de regras.

Regras	Dados de entrada		Dados de saída
	ITA	IC	IDBH
1	Pouco degradada	Alongado	Baixo
2		Mediano	Baixo
3		Circular	Médio
4	Regular	Alongado	Baixo
5		Mediano	Baixo
6		Circular	Médio
7	Degradada	Alongado	Médio
8		Mediano	Alto
9		Circular	Alto
10	Muito degradada	Alongado	Médio
11		Mediano	Muito Alto
12		Circular	Muito Alto

A última etapa consistiu na construção do conjunto *fuzzy* da variável de saída (IDBH) e a leitura dos resultados finais que indicam a degradação da bacia e das sub-bacias. Para a leitura final, utilizou-se o processo de “defuzzificação”, transformando a variável linguística de saída em valores numéricos reais pelo método do centro de gravidade (ROSS, 2009).

O IDBH final foi dividido em cinco classes, sendo: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, de acordo com a determinação de intervalos estabelecidos no ITA e IC. A disposição espacial do resultado no IDBH foi realizada no *software* ArcGis 10.3 (ESRI, 2014). Um esquema do processo encontra-se na Figura 4.3.

Figura 4. 3 - Esquema metodológico do desenvolvimento do IDBH.



Fonte: Autoria Própria.

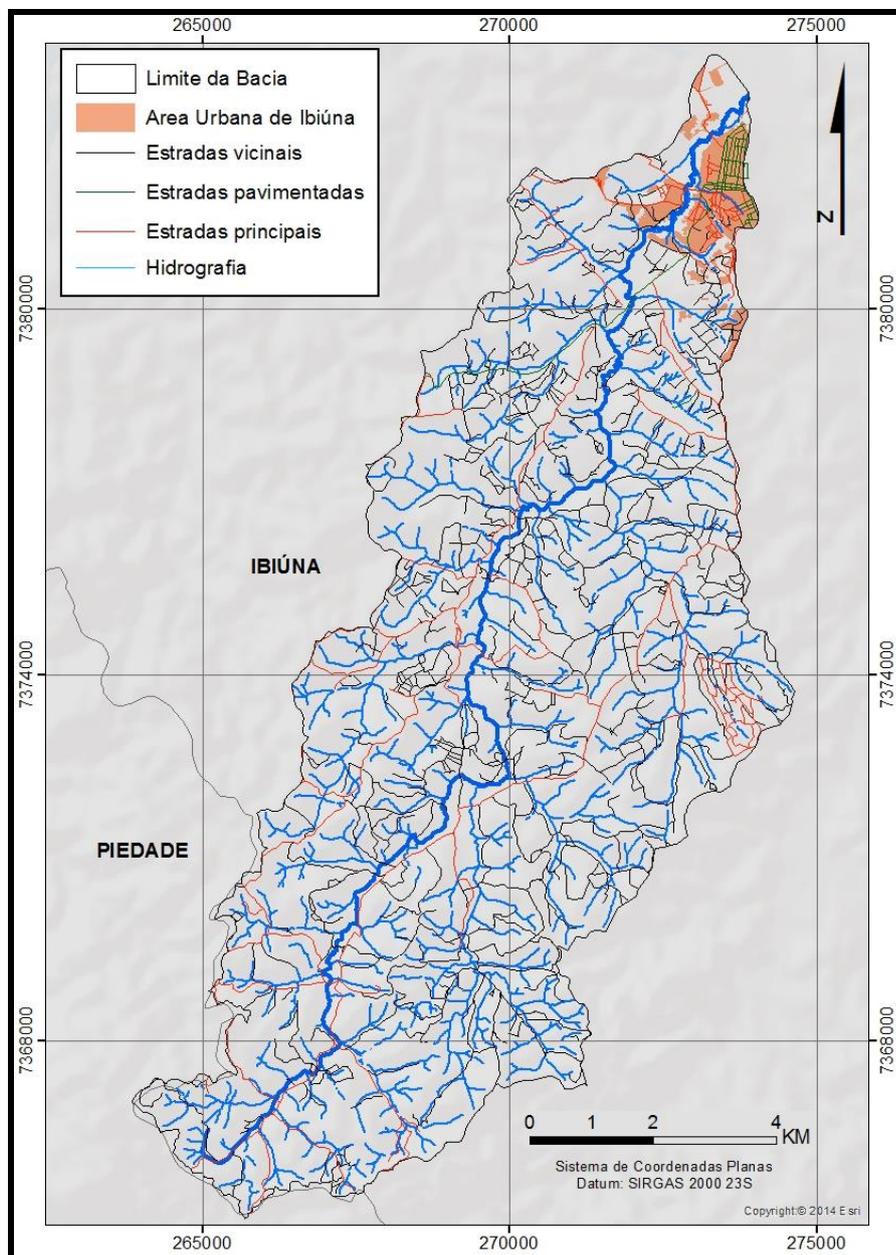
## 2. Resultados e Discussão

Na bacia hidrográfica do rio Una, é possível observar múltiplos usos, tornando a área um laboratório para o estudo da paisagem, da variação no padrão de ocupação e da conservação de seus atributos ambientais.

### 3.1 Base Cartográfica da Bacia Hidrográfica do rio Una

A base cartográfica pode ser observada na Figura 4.4, com destaque para o canal principal do rio Una. As estradas encontram-se distribuídas em vicinais, como aquelas predominantemente localizadas em áreas rurais, as pavimentadas encontram-se localizadas na área urbana da bacia, enquanto as estradas principais fazem a ligação entre as duas anteriores e são caracterizadas pela presença da rodovia estadual SP250 Bunjiro Nakão. A base construída subsidiou o desenvolvimento dos demais produtos cartográficos.

Figura 4. 4 - Base cartográfica da bacia hidrográfica do rio Una.



Fonte: Autoria Própria.

## 2.2 Mapeamento do uso da terra da bacia hidrográfica do rio Una

O quantitativo da área territorial ocupada por cada unidade de uso da terra mapeada pode ser observada na Tabela 4.2 e a sua distribuição espacial pode ser observado na Figura 4.5.

Tabela 4. 2 - Quantitativo da área territorial ocupada por cada unidade do uso da terra

Classe	Subclasse	Unidades	Área (m <sup>2</sup> )	Área (ha)	Área (%)
Área Antrópica	Área degradada	Campos Degradados	5.477.037,60	547,70	5,65
		Solo Exposto	86.291,53	8,62	0,09
Área Antrópica Agrícola	Cultura temporária	Cultivos Temporários Diversificados	34.722.503,82	3.472,25	35,84
	Pastagem	Pecuária de Animais de Grande Porte	1.082.970,77	108,29	1,12
		Silvicultura	Reflorestamento	3.134.578,06	313,45
	Área rural	Aterro Sanitário	33.669,54	3,36	0,03
Edificação Rural		10.283.826,32	1.028,38	10,61	
Área Antrópica Não-Agrícola	Área urbana	Estação de Tratamento de Efluentes	41.802,38	4,18	0,04
		Edificação Urbana	3.881.613,73	388,16	4,01
Água	Água	Hidrografia	421.381,3	42,13	0,43
		Lago/Reservatório	814.849,20	81,48	0,84
Área de Vegetação Natural	Vegetação com influência fluvial	Comunidade Aluvial	1.008.694,00	100,86	1,04
	Área Florestal	Floresta Ombrófila Densa	35.896.079,39	3.589,60	37,05
Total			96.885.297,67	9.688,52	100

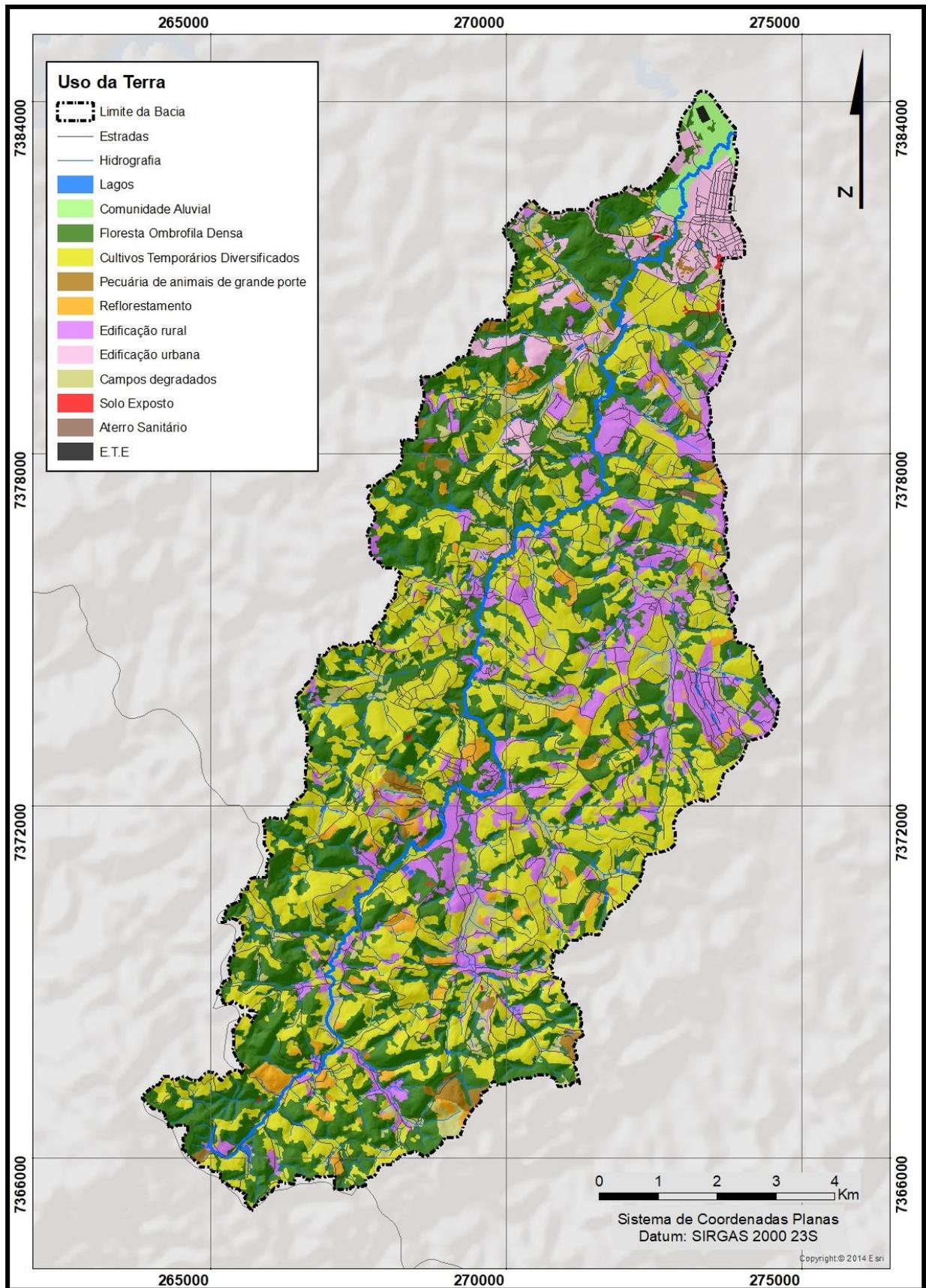
A bacia apresentou treze unidades de uso da terra, classificadas em áreas antrópicas agrícolas (50,85%), seguida da área de vegetação natural (38,10%), área antrópica (5,75%), área antrópica não-agrícola (4,05%) e água (1,25%).

A maior prevalência de áreas antrópicas e o menor percentual de áreas de vegetação pode ser explicado por encontrar-se em um setor econômico com forte vocação agrícola, além de abrigar aproximadamente 15% das áreas residenciais da cidade de Ibiúna.

O aumento sucessivo da produção agropecuária e da expansão urbana é intenso ao longo dos anos, conferindo uma maior taxa de supressão da vegetação e grau de fragilidade da área. Essas percepções também foram observadas por Seabra et al. (2014) que além de identificar o maior percentual de área agrícola em uma bacia hidrográfica na Paraíba, alertou sobre as problemáticas causadas ao setor hídrico devido a falta de estrutura e das mudanças bruscas no uso da terra e na vegetação.

Para efeito de caracterização será dissertado sobre o uso da terra separadamente da cobertura vegetal.

Figura 4. 5 - Mapeamento do uso da terra.



Fonte: Autoria Própria.

### 2.2.1. Caracterização do uso da terra da bacia hidrográfica do rio Una

A área antrópica agrícola é caracterizada por cultivos temporários (35,84%) visando a comercialização de espécies vegetais hortícolas, dentre elas, a cenoura, tomate, cebola, batata doce, alface, gengibre, couve-flor, coentro e salsa. O cultivo destas espécies respondem pela maior ocupação da bacia, permitindo definí-la como a principal atividade econômica para a população residente (Figura 4.6).

Figura 4. 6 - Cultivos temporários diversificados de couve (a esquerda) e de alface (a direita).



Fonte: Aatoria Própria. Data: Julho/2016

O município de Ibiúna é um importante pólo agrícola da região, sendo responsável pelo abastecimento regional, o que justifica o quantitativo da área explorada para esta finalidade. De acordo com dados da produção agrícola municipal divulgados pelo IBGE, São Paulo contribui com 16% do total de produção agrícola nacional, enquanto o município de Ibiúna contribuiu com um PIB agrícola de R\$ 235 milhões de reais em 2013, ocupando a 9ª posição no ranking estadual (IBGE, 2013b).

A ocupação desse setor é representado também por edificações rurais (10,61%), definidas por áreas residenciais na zona rural, o aterro sanitário municipal e por estufas de produção de mudas e flores (Figura 4.7). A pastagem com atividades agropastoris de gado de corte e equinos representa a menor categoria de uso (1,12%), estando próxima de áreas rurais edificadas e da área florestal, refletindo o processo de supressão da vegetação para tal prática (Figura 4.8).

Figura 4. 7 - Edificações rurais.



Fonte: Aatoria Própria. Data: Julho/2016.

Figura 4. 8 - Pastagem.



Fonte: Aatoria Própria. Data: Julho/2016.

As áreas de silvicultura caracterizam-se por reflorestamento para fins comerciais com o cultivo de *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.* (3.24%). Estas áreas encontram-se entremeadas à área florestal, sendo uma atividade para a exploração de madeiras que contribui com o processo de supressão de vegetação nativa para novos campos de produção (Figura 4.9).

Figura 4. 9 - Silvicultura de Eucalipto e Pinus.



Fonte: Aatoria Própria. Data: Julho/2016.

Até o ano de 2014, o IBGE identificou uma área total de plantação de *Eucaliptus* sp. equivalente a 530 ha e um total de 1300 ha de *Pinus* sp., totalizando 1.830 ha de silvicultura para o município. Somente na bacia, a silvicultura corresponde a 300 ha, representando um percentual considerável em relação ao levantamento divulgado (IBGE, 2015).

A área antrópica não agrícola é caracterizada pelas edificações urbanas e a estação de tratamento de efluentes. A primeira, corresponde a parte da área urbana do município de Ibiúna, localizada ao norte da bacia (Figura 4.10). Como a área de estudo é predominantemente rural, a taxa de área ocupada pelas edificações urbanas corresponde a 4.01%, sendo menor que a área de edificações rurais.

Figura 4. 10 - Edificações urbanas.



Fonte: Autoria Própria. Data: Julho/2016.

A área antrópica é representada pelo solo exposto (0,09%) e pelos campos degradados (5,65%). Os campos degradados foram definidos como áreas urbanas ou rurais que encontram-se em estágio de abandono, com depósito de lixo ou superexploradas agricolamente e vistas como inapropriadas para a instalação de novos cultivos, caracterizando o período de pousio no momento do mapeamento (Figura 4.11).

Figura 4. 11 - Campos degradados.



Fonte: Autoria Própria. Data: Julho/2016.

A área hídrica encontra-se definida pelos cursos d'água com largura que não excede 1,5 m, de forma sinuosa e bem distribuída ao longo do território, além de lagos, lagoas e reservatórios que juntos somam uma área de superfície equivalente a 1,25% do total da ocupação na bacia (Figura 4.12).

Figura 4. 12 - Rio Una (esquerda) e lago (direita).



Fonte: Aatoria Própria. Data: Julho/2016.

A bacia do rio Una se configura pela multiplicidade de usos, moldada pela lógica do desenvolvimento local instituído e influência da produção agrícola. No entanto, é preciso ressaltar que para Badar, Romshoo e Khan (2013) bacias que apresentam atividades semelhantes a do rio Una, com forte transformação de áreas vegetais naturais em pastoreio e áreas agro-hortícolas estão associadas a uma maior carga de erosão, de sedimentos e de escoamento superficial e menor capacidade de infiltração.

Nesta perspectiva, as colocações de Chuerubin e Pavanin (2013) também contribuem na compreensão das atividades que ocorrem sobre o território da bacia do rio Una, ao afirmar a importância do mapeamento do uso da terra nestas áreas, buscando avaliar de forma qualitativa e quantitativa áreas destinadas à preservação ambiental, o estágio de degradação e as possibilidades de zonas de expansão.

### **2.3 Caracterização da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Una**

A cobertura vegetal natural apresenta uma rica fisionomia que corrobora para a importância do monitoramento da sua distribuição, extensão e utilização sustentável pela comunidade local. A bacia do Una encontra-se situada no bioma Mata Atlântica, apresentando áreas de relevante investigação devido às suas características fitoecológicas.

A seguir, são apresentadas as principais características das fisionomias vegetais existentes, identificadas conforme a classificação fitogeográfica adotada pelo IBGE (IBGE, 2012):

### 2.3.1 Vegetação com influência fluvial – Comunidade aluvial

A comunidade aluvial é delimitada ao norte e responde pela área alagadiça de tamanho correspondente a 100 ha e representa 1,04% da bacia (Figura 4.13).

Figura 4. 13 - Comunidade aluvial da bacia do rio Una.



Fonte: Autoria Própria. Data: Julho/2016.

De acordo com o Manual Técnico da Vegetação Brasileira, essas áreas caracterizam-se pelas comunidades vegetais das planícies aluviais que refletem os efeitos das cheias dos rios nas épocas chuvosas ou durante todo o ano. Neste terreno, conforme a quantidade e o tempo de água empoçada aumenta, maior a diversidade de comunidades vegetais em espécies do tipo terófitos, geófitos e caméfitos (IBGE, 2012).

Já nas planícies alagáveis mais bem-drenadas ocorrem comunidades campestres e os gêneros *Cyperus*, *Panicum* e *Paspalum*, espécies consideradas cosmopolitas e dominantes. Nos terraços mais enxutos, dominam nanofanerófitos dos gêneros *Acacia* e *Mimosa*, juntamente com várias famílias pioneiras, dentre elas Solanaceae, Asteraceae e Myrtaceae (IBGE, 2012).

### 2.3.2 Área Florestal – Floresta Ombrófila Densa

O tipo de cobertura florestal é definido como Floresta Ombrófila Densa, antes denominado por Floresta Tropical Pluvial, entendida como área florestal “amiga das chuvas” e densa pela sua distribuição no espaço intertropical (IBGE, 2012).

Essa vegetação é caracterizada por espécies fanerófitas, lianas lenhosas e epífitas em abundância, além dos fatores climáticos ombrófilos que marcam a região, com elevadas temperaturas (médias de 25° C) e de alta precipitação durante o ano. Essas condições determinam uma situação bioecológica de desenvolvimento, riqueza de espécies e ausência de período biologicamente seco (BLUM; RODERJAN; GALVÃO, 2012; IBGE, 2012).

Na bacia, a floresta encontra-se caracterizada na forma de intensos fragmentos florestais, entremeados às áreas agrícolas com maior concentração ao leste e sul da área (37,05%) (Figura 4.14).

Figura 4. 14 - Floresta Ombrófila Densa Montana.



Fonte: Autoria Própria. Data: Julho/2016.

Estes fragmentos respondem pelas áreas mais conservadas na bacia e abrigam espécies florestais de relevante interesse para a conservação da flora, da fauna e dos recursos hídricos locais, merecendo estudos que investiguem a sua riqueza ecológica, o inventário e a distribuição das espécies. Segundo Bosa et al. (2015), essa formação desempenha papel importante em bacias hidrográficas, pois atua no controle dos processos erosivos, na infiltração e liberação gradativa da água das chuvas e na manutenção das nascentes.

Na classificação da Floresta Ombrófila Densa, pode-se determinar que os fragmentos da bacia são definidos pela subformação Floresta Ombrófila Densa Montana. Essa formação é determinada considerando a sua posição fitogeográfica entre os altos dos planaltos e/ou serras, entre os 4° de latitude Norte e os 16° de latitude Sul, a partir de 600 m até em torno dos 2 000 m; de 16° de latitude Norte a 24° de latitude Sul, de 500 m até em torno de 1 500 m; de 24° de latitude Norte até 32° da latitude Sul, de 400 m até em torno de 1 000 m (IBGE, 2012).

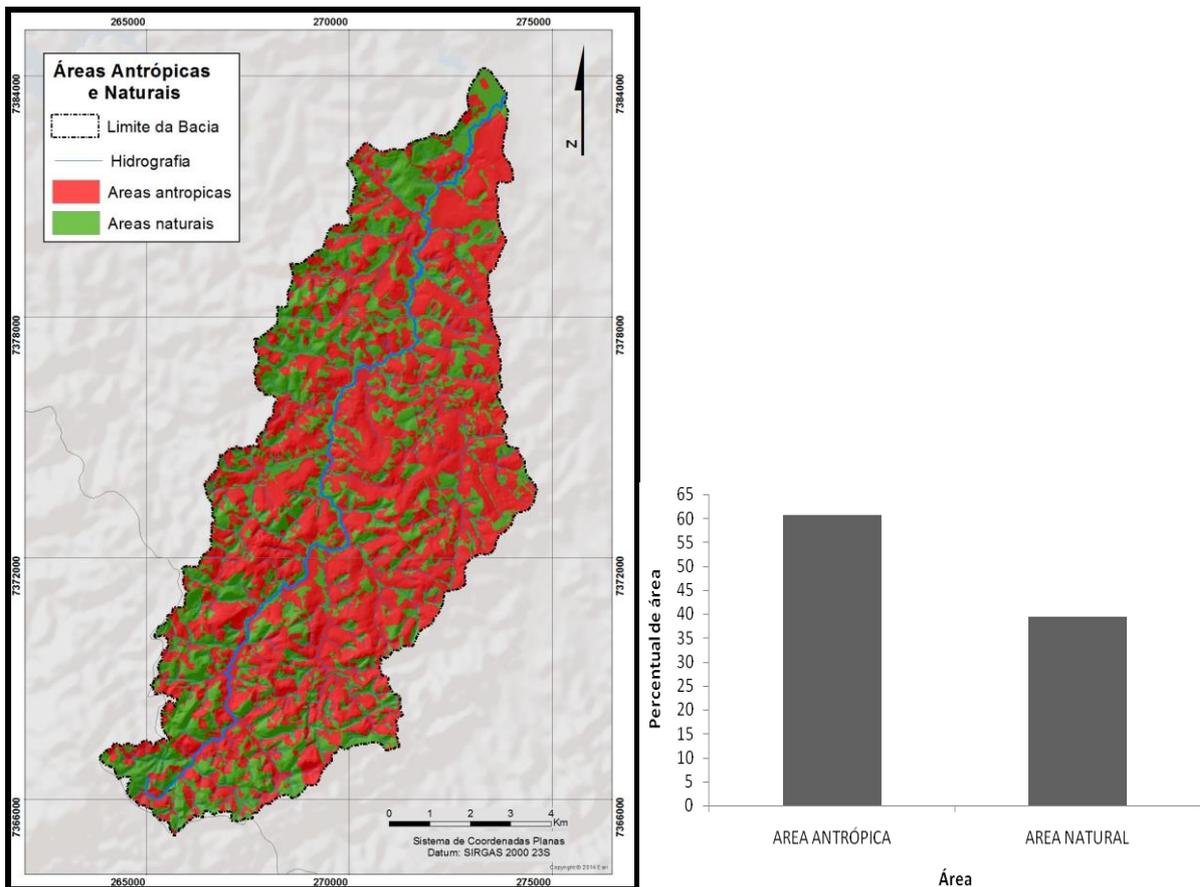
O Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Médio Tiête Sorocaba, na qual a bacia do rio Una encontra-se inserida, indica um total de 6.007,67 hectares de desta

subformação para a região. Esse dado reforça a importância da conservação dos fragmentos existentes na bacia do rio Una, já que o seu percentual representa uma importante área verde para o Estado. Os estudos do Plano Regional Integrado de Saneamento Básico também apontam essa região com a porção de maior cobertura vegetal dentre as demais UGRHIs do Estado (IPT, 2008; SÃO PAULO, 2011).

## 2.4 Áreas antrópicas e naturais

As áreas antropizadas ou de ordem natural encontra-se distribuída de forma homogênea na bacia (Figura 4.15).

Figura 4. 15 - Distribuição espacial e percentual de áreas antrópicas e naturais.



Fonte: Autoria Própria.

Essa distribuição reflete a intensa influência humana ao longo do tempo, denotando uma antropização de 60,63% do território, o que corresponde ao uso de 58.744 ha. A área natural apresentou menor percentual (39,37%) e representa 38,141 ha.

## 2.5 APPs e conflitos socioambientais

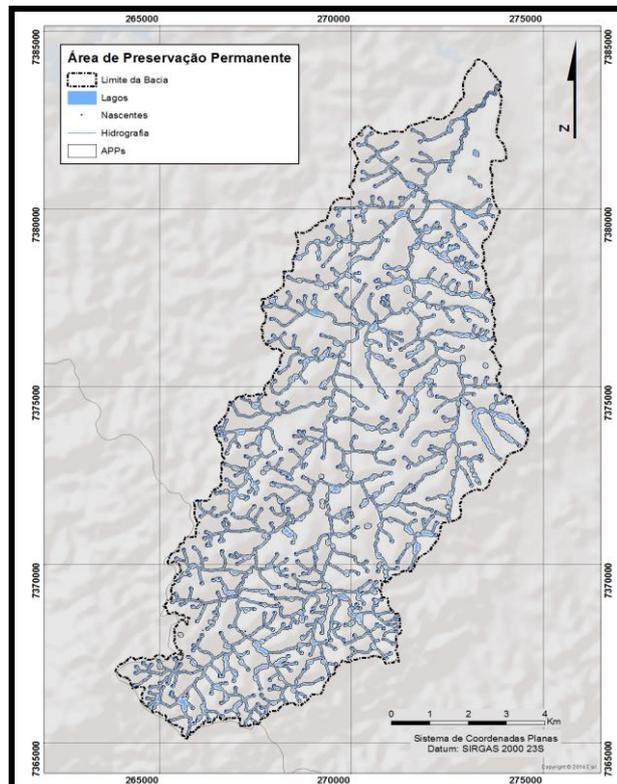
As áreas de APPs foram quantificadas em 2.091 ha, considerando que o raio de área dos diferentes tipos de APPs se sobrepõem ao longo do território. Para tanto, observou-se que as faixas marginais de preservação dos rios respondem pelo maior quantitativo enquanto as áreas de APPs de declividade possuem a menor representatividade. Não foram identificadas APPs de topos de morros.

O quantitativo de cada área de APPs e a distribuição espacial pode ser observado na Tabela 4.3 e Figura 4.16, respectivamente.

Tabela 4. 3 - Quantitativo de APPs

APPs	Área (ha)
Rios	1.630,74
Lagoas rurais	528,19
Nascentes	498,42
Lagoas urbanas	18,73
Declividade	1,73
Total das APPs sem sobreposição	2.677,82
Total das APPs sobrepostas	2.091,20

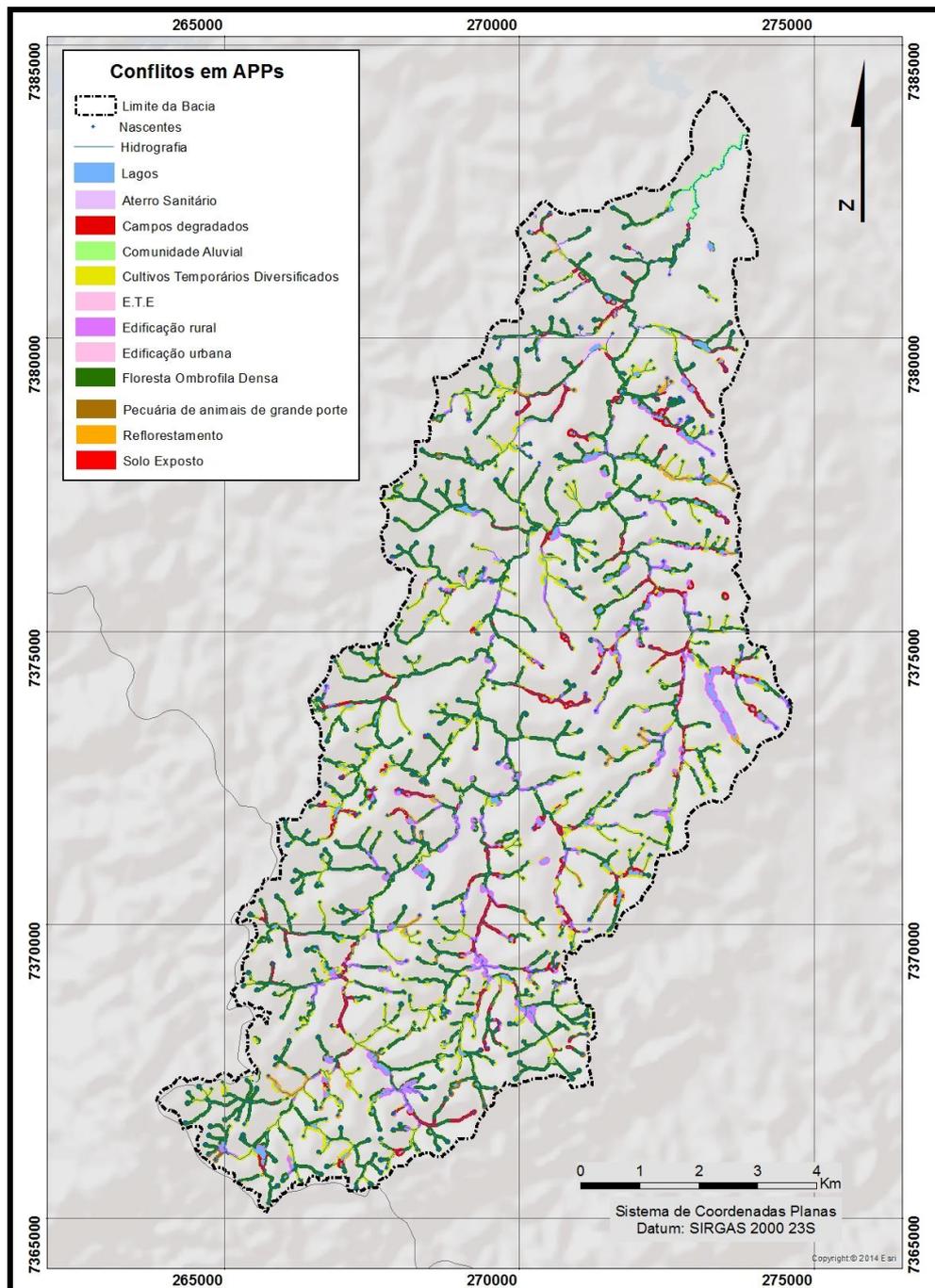
Figura 4. 16 - Áreas de Preservação Permanente.



Fonte: Autoria Própria.

Os conflitos em áreas de APPs consistem da utilização do uso para atividades não previstas no Código Florestal Brasileiro e promovem impactos diretos ou indiretos na área contribuindo para a supressão de vegetação, poluição dos recursos hídricos, perda da biodiversidade e agravos a população humana. A distribuição espacial e quantitativa das classes de usos no interior das APPs podem ser observadas na Figura 4.17 e na Tabela 4.4, respectivamente.

Figura 4. 17 - Conflitos ambientais em APPs.



Fonte: Autoria Própria.

Tabela 4. 4 - Quantitativo de atividades de uso da terra em APPs

Classe	Subclasse	Unidades	Área (m <sup>2</sup> )	Área (ha)	Área (%)
Área Antrópica	Área degradada	Campos degradados	2.078.341,87	207,83	9,90
		Solo Exposto	4.689,44	0,47	0,02
Área Antrópica Agrícola	Cultura temporária	Cultivos Temporários Diversificados	5.070.642,69	507,06	24,14
		Pecuária de Animais de Grande Porte	166.576,15	16,66	0,79
	Silvicultura	Reflorestamento	583.487,39	58,35	2,78
	Área rural	Edificação Rural	2.216.492,22	221,65	10,55
	Área urbana	Edificação Urbana	324.929,72	32,49	1,55
Água	Água	Hidrografia	95.140,96	9,51	0,45
		Lago/Reservatório	448.898,93	44,89	2,14
Área de Vegetação Natural	Vegetação com influência fluvial	Comunidade Aluvial	188.869,32	18,88	0,90
	Área florestal	Floresta Ombrófila Densa	9.823.150,25	982,32	46,77
Total			21001218,95	2100,12	100

Os cultivos temporários diversificados possuem maior inserção nestas áreas (24,14%), seguida das edificações rurais (10,55%) e de campos degradados (9,90%). A classificação das áreas de APPs em áreas antrópicas ou naturais apresentou uma distribuição equilibrada, sendo 50,26% de áreas naturais e 49,74% de áreas antropizadas. Esses percentuais denotam a realidade de degradação de áreas que deveriam encontrar-se em estado de preservação permanente na bacia.

## 2.6 Indicador de Degradação da Bacia Hidrográfica do rio Una

O ITA aplicado aos componentes da paisagem da bacia do rio Una possibilitou classificá-la como uma paisagem degradada, conforme pode ser observada na Tabela 4.5.

Tabela 4. 5 - Índice de transformação antrópica da bacia do rio una e de suas sub-bacias

Escore	Classificação	Definição
0 – 2.5	Pouco degradada	-
> 2.5 – 5	Regular	Sub-bacias 1, 2, 10 e 11
> 5 – 7.5	Degradada	Bacia do Una, sub-bacias 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9
> 7.5 – 10	Muito degradada	-

O estudo realizado por Gouveia et al. (2013) mostrou-se semelhante aos achados para a bacia do Una ao verificar uma transição de regular para degradada na bacia do Córrego Vermelho, Mato Grosso, confirmando a mudança a qual a paisagem das áreas com intensa atividade humana são transformadas ao longo do tempo.

Os cultivos temporários diversificados, por apresentarem a maior área de ocupação na bacia, contribuíram significativamente com a classificação identificada pelo ITA. É preciso ressaltar, que o Brasil apresenta aptidão para a atividade agrícola, permanecendo entre os principais produtores mundiais. Essa vocação instituída no país converge para a produção em todas as regiões, mas esse ritmo produtivo, em sua maioria, não acompanha a capacidade de carga do ambiente.

Com as disposições da Política Nacional de Meio Ambiente, é preciso atentar-se a produção voltada aos moldes da sustentabilidade, com manejo integrado da produção e a conservação da água e do solo (BRASIL, 1981). Os impactos advindos de práticas agrícolas irregulares incentivam também, o desmatamento, a extinção de espécies da flora e fauna, alterações nas propriedades físico-químicas e microbiológicas do solo e processos erosivos nas áreas produtivas (MOURA; OLIVEIRA, 2013).

Em seguida, as edificações rurais respondem pela segunda posição e a contribuição elevada ao ITA podendo ser justificada pelas formações de áreas agrícolas que induzem a formação de residências, estufas e galpões de armazenamento dos produtos nas proximidades, formando aglomerados rurais no entorno da áreas de produção (RODRIGUES et al., 2014).

As sub-bacias 3, 4, 5, 6, 7 e 8 também encontram-se sob degradação. A sub-bacia 8 apresentou o maior valor para o ITA, sendo que 59% de sua área apresenta cultivos temporários e apenas 23% respondem por áreas vegetadas. No estudo de Rodrigues et al. (2014), as sub-bacias que apresentaram alta exploração pela edificações e atividades agropecuárias também apresentaram níveis altos de degradação, responsabilizando esses dois fatores como os principais modificações da paisagem e da redução da vegetação.

A sub-bacia 5 possui segunda maior valor de ITA, seguida da sub-bacia 9, com mais de 65% da área territorial ocupada por atividades antrópicas e áreas de vegetação natural menores que 32%. O estudo realizado por Rodrigues e Hott (2010) também comprovou a redução da vegetação natural em áreas de São Paulo, em razão da expansão agrícola, pastagem e silvicultura, assim como tem sido observado para a bacia do rio Una.

Quanto ao IC, a bacia do rio Una apresentou uma forma alongada, permitindo reduzir o tempo de concentração da água e do escoamento superficial. A classificação detalhada do IC pode ser observada na Tabela 4.6.

Tabela 4. 6 - Índice de circularidade da bacia do rio Una e de suas sub-bacias

Classificação	Bacia ou Sub-bacias
Alongada	Bacia do Una e sub-bacias 1, 2, 4, 6, 7, 9,10 e 11
Mediana	Sub-bacia 3, 5 e 8
Circular	-

As sub-bacias 1, 2, 4, 6, 7, 9, 10 e 11 foram consideradas igualmente alongadas pelos seus valores de IC. Em contrapartida, as sub-bacias 3, 5 e 8, apresentaram valores mais elevados induzindo a uma forma mediana, expondo-as aos efeitos antrópicos se comparadas às demais. As sub-bacias medianas encontram também, em situação de degradação pelo ITA.

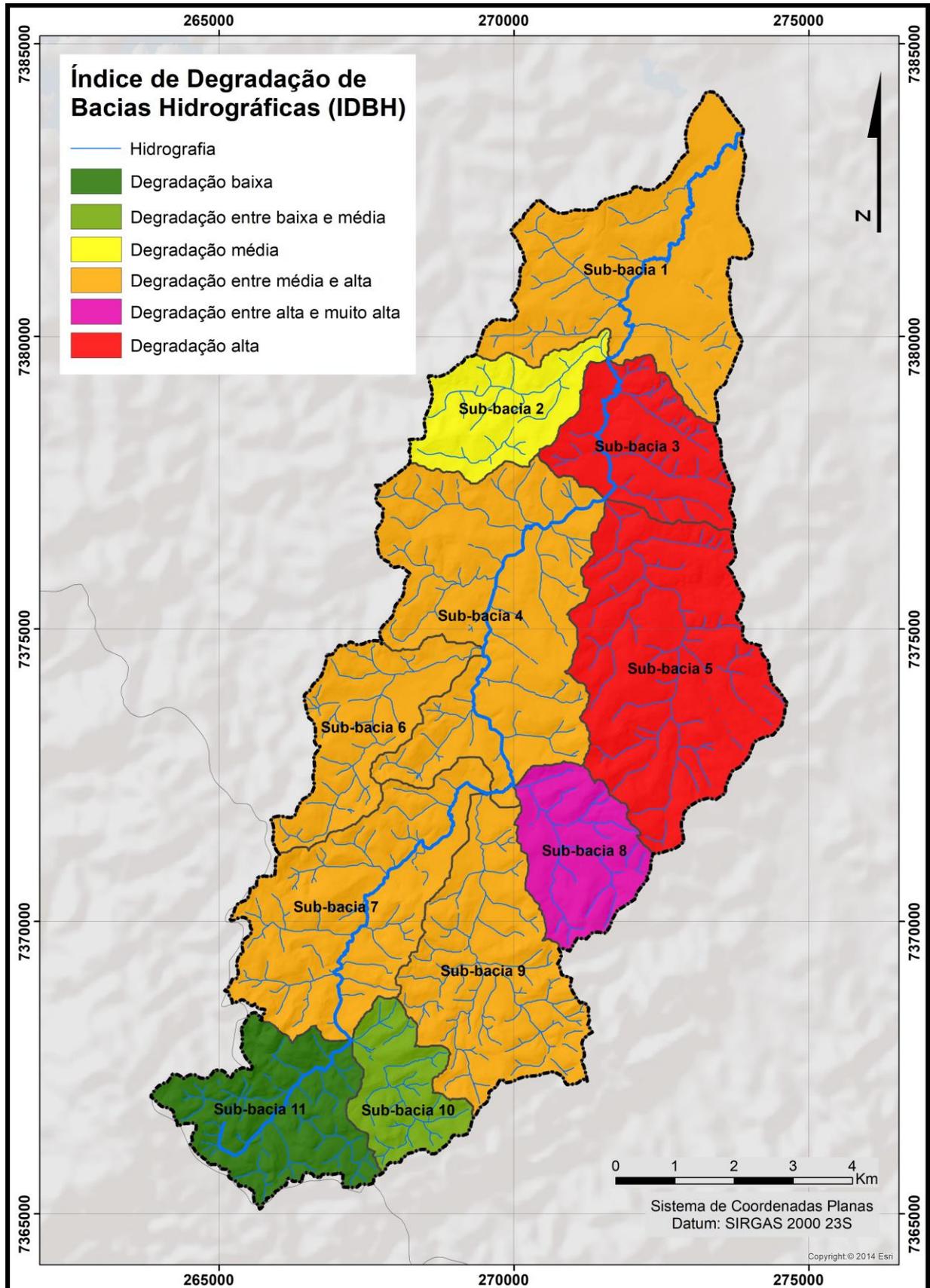
Embora o IC esteja intimamente relacionado com o risco de enchentes, atenta-se para o fato de que a maior vazão nessas áreas só será possível quando mantida também a relativa conservação de suas áreas, dentre elas, a maior área de vegetação natural, redução de solo exposto e práticas de cultivo com manejo adequado, a fim de indicar a redução da lixiviação do solo, processos erosivos em áreas de declive, contaminação de lençol freático pelo carreamento de produtos tóxicos e a eutrofização dos recurso hídricos.

Neste sentido, o ITA pode ser correlacionado às características da forma de uma bacia, já que, tanto bacias com formatos alongados ou circulares, associadas a uma alta degradação do seu uso, tendem a apresentar maiores impactos ambientais. No entanto, em bacias com forma circular, há a maior possibilidade de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão, concentrando grande volume de água no tributário principal e causar maiores problemas (CARDOSO et al., 2006).

No IDBH desenvolvido, observou-se uma degradação entre média e alta para a bacia do Una. Como já constatado, as atividades antrópicas possuem taxa elevada quando comparada às naturais.

Além da bacia, nove sub-bacias apresentaram valores acima de 5, classificando-as com degradação entre média a muito alta. Esses valores, dentro das pertinências dos subconjuntos *fuzzy* de saída, determinaram o estágio detalhado de cada área conforme a espacialização do índice apresentado na Figura 4.18.

Figura 4. 18 - IDBH da bacia do rio Una.



Fonte: Autoria Própria.

Cinco sub-bacias foram classificadas com degradação entre média e alta, indicando um estado de transição dos seus usos e aumento da área degradada. Essas sub-bacias estão concentradas nos locais mais populosos da bacia e com presença de cultivos temporários diversificados. Duas sub-bacias foram verificadas com exposição alta, com altos percentuais de cultivos temporários, edificações rurais e campos degradados.

Apenas uma sub-bacia foi verificada com baixa exposição antrópica. Localizada a montante, a sub-bacia 11 apresentou os maiores percentuais de área de vegetação natural. Essa classificação está atrelada também, às maiores cotas altimétricas e de declividade, que auxiliam a menor utilização da área para cultivo e minimização do impacto ambiental. No entanto, a antropização da sub-bacia 10 e a sua transição quanto a degradação pode corroborar para a degradação da sub-bacia 11.

A sub-bacia 8 obteve classificação com o maior nível de degradação, sendo classificada com uma exposição entre alta e muito alta. Esses resultados são reflexos dos maiores percentuais em todas as atividades antrópicas, inclusive pela maior taxa de cultivos temporários, menor taxa de vegetação natural e aproximada de um formato circular.

O resultado do IDBH é condizente com os dados anteriores, quando observado que 60% da bacia apresenta-se antropizada, assim como metade das áreas de APPs. O desenvolvimento agrícola instituído reflete a maior problemática da transformação antrópica, apresentando-se alto em relação às demais atividades.

Ainda assim, as áreas de vegetação natural e de recursos hídricos apresentam-se como as mais impactadas, inicialmente pela redução das áreas vegetadas para a ocupação humana, e concomitante, a poluição dos recursos hídricos, a deposição de poluentes agrícolas e esgotos domésticos em área urbana e rural, trazendo danos pela ausência de um planejamento ambiental adequado da bacia (RODRIGUES et al., 2014).

A possibilidade de determinar o estágio de exposição antrópica em maior detalhe demonstrou a potencialidade do indicador IDBH em reportar valores bem definidos para avaliar e nortear políticas de tomadas de decisão no âmbito do planejamento e da gestão ambiental. Essa é uma potencialidade do indicador, que ao trabalhar com a subjetividade ambiental através da lógica *fuzzy* obteve resultados mais precisos nas avaliações.

Vale ressaltar que somente com a utilização do ITA a bacia e suas respectivas sub-bacias seriam classificadas em quatro níveis e com o IDBH, a área passou a ser classificada em cinco novos níveis, apresentando resultados detalhados para a tomada de decisão.

Os valores obtidos para o ITA, IC e para o IDBH são apresentados de forma detalhada na Tabela 4.7.

Tabela 4. 7 – Quantitativo detalhado dos valores de ITA, IC e IDBH

Classe	Subclasse	Unidades	Media dos Pesos	% de Uso das sub-bacias e da bacia do rio Una											
				Sub-bacia 1	Sub-bacia 2	Sub-bacia 3	Sub-bacia 4	Sub-bacia 5	Sub-bacia 6	Sub-bacia 7	Sub-bacia 8	Sub-bacia 9	Sub-bacia 10	Sub-bacia 11	Bacia do Una
Área Antrópica	Área degradada	Campos Degradados	8,2	6,52	6,96	6,29	3,19	7,45	4,71	4,94	6,16	8,09	8,70	1,06	5,65
		Solo Exposto	9	0,50	0,07	-	0,04	-	-	0,05	-	0,04	-	0,04	0,09
Área Antrópica Agrícola	Cultura temporária	Cultivos Temporários Diversificados	8,8	17,05	22,86	31,78	44,38	37,15	54,20	35,74	59,86	40,28	26,54	30,89	35,84
	Pastagem	Pecuária de Animais de Grande Porte	8,4	1,42	2,47	0,74	0,65	0,12	0,08	1,02	0,09	4,07	0,92	0,66	1,12
	Silvicultura	Reflorestamento	6,2	1,10	4,49	3,35	2,76	3,46	0,56	4,51	3,16	2,43	3,92	7,80	3,24
	Área rural	Aterro Sanitário		9,2	-	-	0,56	-	-	-	-	-	-	-	-
Edificação Rural			8,2	3,76	6,56	20,59	8,87	21,67	2,50	11,42	11,84	11,60	7,89	3,41	10,61
Área Antrópica Não-Agrícola	Área urbana	E.T.E	8,2	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04
		Edificação Urbana	8,2	25,27	10,22	0,41	0,83	-	-	-	-	-	-	-	-
Água	Água	Hidrografia	1,2	0,36	0,39	0,46	0,42	0,36	0,46	0,45	0,41	0,55	0,51	0,53	0,43
		Lago/reservatório	2,8	0,64	0,67	1,61	0,58	1,20	0,81	0,49	1,18	0,75	0,99	0,96	0,84
Área de Vegetação Natural	Vegetação com influência fluvial	Comunidade Aluvial	1,2	7,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,04
	Área florestal	Floresta Ombrófila Densa	1	35,17	45,31	34,23	38,29	28,60	36,68	41,38	23,29	32,18	50,52	54,64	37,05
Índice de Transformação Antrópica				5,14	4,92	5,74	5,59	6,20	5,79	5,28	6,69	6,00	4,55	4,20	5,54
Índice de Circularidade (IC)				0,39	0,48	0,57	0,32	0,51	0,38	0,44	0,62	0,40	0,47	0,39	0,33
<b>Indicador de Degradação de Bacias Hidrográficas (IDBH)</b>				<b>5,67</b>	<b>5,19</b>	<b>7,61</b>	<b>5,79</b>	<b>7,50</b>	<b>6,27</b>	<b>6,24</b>	<b>7,80</b>	<b>6,42</b>	<b>3,35</b>	<b>2,88</b>	<b>5,88</b>

---

---

## CAPÍTULO V

### Diagnóstico e caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Una

---

---

#### Resumo

O estudo objetivou descrever a modelagem ambiental avaliando os parâmetros morfométricos e pedológicos da bacia hidrográfica do rio Una, Ibúna, São Paulo, utilizando técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG. A avaliação dos parâmetros hidrológicos e morfométricos foram determinados a partir de rotinas de processamento nos módulos *Surface, Hydrology e Integrated Water Management* no Arcgis 10.3 e Idrisi Selva, tomando como base de dados o modelo digital do terreno e o limite da bacia. Os parâmetros pedológicos de textura e matéria orgânica foram avaliados por procedimentos de coleta de solo em malha de 35 pontos amostrais irregulares e processados em laboratório pelo método da pipeta e combustão, respectivamente. Evidenciou-se que a bacia do rio Una estende-se por 96km<sup>2</sup>, com forma irregular e alongada, não sujeita a ocorrência de enchentes, altitude média de 937 metros e cota máxima de 1175 metros. O relevo é fortemente ondulado, com declividade média de 18%, orientado para o norte. A rede de drenagem, apresentou cinco ordens, padrão dendrítico e capacidade regular de escoamento, sendo o tempo de escoamento estimado em 5.44h. Os solos da bacia apresentam-se como Latossolos ou Argissolos, com maior tendência a textura argilosa e menos siltosa. A matéria orgânica variou entre 10 a 67%, com maiores percentuais em áreas de floresta.

**Palavras-chave:** Hidrologia. Geoprocessamento. Morfometria. Recursos Hídricos.

#### 1. Métodos

Para a análise morfométrica da bacia foi delimitado o Modelo Digital do Terreno (MDT) através do método TIN (Triangular Irregular Networks), com base nas curvas de nível e pontos cotados extraídos da base cartográfica da área de estudo. O TIN é compreendido como uma estrutura com topologia do tipo nó-arco, que representa a morfologia da superfície através das características do relevo e da drenagem por meio de faces triangulares interligadas, contendo coordenadas de localização (x, y) e um atributo z, correspondente a elevação ou altitude (AGGIDIS; BENZON, 2013; CÂMARA *et al.*, 1999; ESRI, 2014).

Para a obtenção das cartas de declividade e orientação do terreno utilizou-se o MDT, procedendo a rotina de processamento através dos módulos *slope* e *aspect*, no *software* ArcGis (ESRI, 2014).

A declividade é baseada na proporção entre desníveis e suas respectivas distâncias horizontais, que podem ser expressas em graus ou em porcentagem (VALERIANO;

ALBUQUERQUE, 2010). Neste estudo, adotou-se a classificação da Empresa Brasileira de Produção Agropecuária (EMBRAPA), conforme Tabela 5.1 (EMBRAPA, 2006).

Tabela 5. 1 - Classes de declividade

<b>Intervalo (%)</b>	<b>Tipo de declividade no relevo</b>
0 - 3%	Relevo plano
3 - 8%	Relevo suavemente ondulado
8 - 20%	Relevo ondulado
20 - 45%	Relevo forte ondulado
45 - 75%	Relevo montanhoso
> 75%	Relevo escarpado

Fonte: EMBRAPA (2006).

O sombreamento caracteriza-se pela simulação do nível de luz (ou de sombra) refletida pelo relevo ao ser iluminado pelo sol em uma posição geográfica determinada. As áreas de maior declividade tendem a refletir muita luz e serão visíveis enquanto as áreas de encostas ou não iluminadas diretamente pelo sol, não refletirão luz e aparecerão mais escuras no modelo. Esta representação do terreno foi obtida utilizando um ângulo azimutal de 315° e ângulo de elevação do sol de 45° (TONELLO et al., 2006; SANTOS, 2010).

A orientação do terreno considera a orientação da declividade de um determinado ponto no terreno, definida pela direção transversal às curvas de nível e no sentido descendente, acompanhando o fluxo esperado do escoamento superficial (ESRI, 2014; VALERIANO; ALBUQUERQUE, 2010). A orientação da vertente do terreno foi obtida através da reclassificação dos graus de orientação conforme a Tabela 5.2.

Tabela 5. 2 - Classes de orientação do terreno

<b>Graus</b>	<b>Orientação</b>
0	Plano
Até 22,5	Norte
> 22,5 até 67,5	Nordeste
> 67,5 até 112,5	Leste
> 112,5 até 157,5	Sudeste
> 157,5 até 202,5	Sul
> 202,5 até 247,5	Sudoeste
> 247,5 até 292,5	Oeste
> 292,5 até 337,5	Noroeste
> 337,5 até 360	Norte

Fonte: ESRI (2014).

A caracterização geométrica da bacia e da rede de drenagem foi realizada para os parâmetros descritos nas Tabelas 5.3 e 5.4. Os parâmetros foram calculados através de rotinas de geoprocessamento com os módulos *Hydrology* no *software* ArcGis 10.3 e do *Integrated Water Management* no Idrisi Selva, utilizando como dados de entrada o MDT e o limte da bacia hidrográfica (CLARK LABS, 2012; ESRI, 2014).

Tabela 5. 3 - Características geométricas

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	DEFINIÇÃO
Área total da bacia (A)	Área delimitada pelo divisor de águas a partir da somatória das áreas do limite da bacia.
Perímetro total da bacia (P)	Comprimento médio ao longo do divisor de águas estimado a partir do limite da bacia, segundo a somatória de todas as diagonais.
Comprimento da bacia (L)	Comprimento da foz até o exutório da bacia.
Largura da bacia	Largura entre os lados da bacia, considerando a orientação oeste – leste.
Altitude média da bacia	Representa a variação da elevação média do terreno da bacia com referência ao nível médio do mar.
Declividade média	Inclinação média que atinge o terreno da bacia.
Coefficiente de compacidade (KC)	<p>Relaciona a forma da bacia com um círculo, definido como a relação entre perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Sendo: <math>Kc = 1 =</math> circular (VILLELA; MATTOS 1975).</p> $KC = 0,28 \times P / \sqrt{A}$ <p>Onde:            KC = Coeficiente de compacidade            P = Perímetro            A = Área de drenagem</p>
Índice de circularidade (IC)	<p>Relaciona a forma da bacia com a forma circular. Sendo: <math>Ic = 1 =</math> circular (TONELLO et al., 2006).</p> $IC = (12,57 \times A) / P^2$ <p>Onde:            IC = Índice de circularidade            A = Área de drenagem em Km<sup>2</sup>            P = Perímetro em Km</p>
Fator de forma (FF)	<p>Relaciona a forma da bacia com a forma de um retângulo. É determinado pela relação entre a largura média e o comprimento do curso d'água principal. Sendo: <math>FF = 1 =</math> retangular (VILLELA; MATTOS 1975).</p> $FF = A / L^2$ <p>Onde:            KF= Fator de forma;            A = Área de drenagem            L = comprimento do eixo da bacia</p>

Tabela 5. 4 - Características da rede de drenagem

<b>CARACTERÍSTICAS DA REDE DE DRENAGEM</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>
Ordem dos cursos	Classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia (STRAHLER, 1957).
Comprimento total dos cursos d'água	Medida em planta da nascente até a seção de referência de cada tributário e curso principal, através da reclassificação da hidrografia em ordens específicas segundo a somatória das diagonais de suas células.
Comprimento do curso d'água principal	Comprimento do curso d'água principal medido em planta, desde a nascente até a seção exutória da bacia.
Comprimento direto do curso principal	Comprimento direto do curso d'água principal medido em planta, desde a nascente até a seção exutória da bacia desconsiderando as sinuosidades.
Densidade de drenagem	Indica o grau de desenvolvimento e eficiência do sistema de drenagem, definida pela relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede e a área da bacia. Varia de 0,5 km/km <sup>2</sup> em bacias com drenagem pobre a 3,5 km/km <sup>2</sup> ou mais em bacias bem drenadas (VILLELA; MATTOS, 1975). $Dd = L / A$ Onde: Dd= Densidade de drenagem; L = Comprimento total dos rios ou canais A = Área de drenagem
Altitude inicial do curso principal	Representa a elevação inicial que o curso d'água apresenta na bacia com referência ao nível médio do mar.
Altitude final do curso principal	Representa a elevação final que o curso d'água apresenta na bacia com referência ao nível médio do mar.
Coefficiente de sinuosidade hidráulico	É a razão entre o comprimento do canal do rio e o comprimento máximo da bacia que o forma. Sendo: Retilíneo < 1,05; Sinuoso 1,05-1,50; Meandrante > 1,50; Entrelaçado > 1,80; Anastomosado > 2,00 (MORISAWA, 1975)
Tempo de concentração (TC)	Calcula o tempo do escoamento em todos os cursos d'água na bacia (KIRPICH, 1940).

A caracterização do solo foi realizada com base no mapa pedológico do Estado de São Paulo com escala cartográfica 1: 500.000 (OLIVEIRA, 1999). A adaptação da carta de solos para a área da bacia foi realizada através da intersecção da informação espacial ao limite da bacia hidrográfica. Considerando que a escala do mapeamento de solos existente não possui uma escala a nível de detalhe e compatível com a área da bacia, o estudo do solo baseou-se também na análise da textura do solo e da matéria orgânica, visando melhor caracterizá-lo.

As etapas de textura e matéria orgânica foram procedidas de coletas de 35 amostras de solos, conforme uma malha amostral irregular que considerou os diferentes tipos de uso da

terra da bacia. As amostras foram coletadas com trado na profundidade 0-20 cm, retiradas 500 gramas de solo, sendo embalado e identificado para análise em laboratório.

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta na Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), segundo metodologia do Instituto Agronomico de Campinas (IAC). Utilizou-se a solução dispersante de hidróxido e hexametáfosfato de sódio, com agitação por 16 horas em agitador rotatório de Wagner. As frações de areia foram definidas em peneira de 0.2 mm e as frações de argila e silte foram separadas por pipeta em períodos de sedimentação, segundo a Lei de Stokes (IAC, 2009).

A matéria orgânica foi analisada, utilizando o método de combustão proposto pelo IAC, visando avaliar o teor de matéria orgânica através da combustão em mufla, comparando o valor inicial e final do peso amostral (IAC, 2009). Foi aplicada a interpolação *Spline* para a espacialização das texturas de solo da bacia.

## 2. Resultados e Discussão

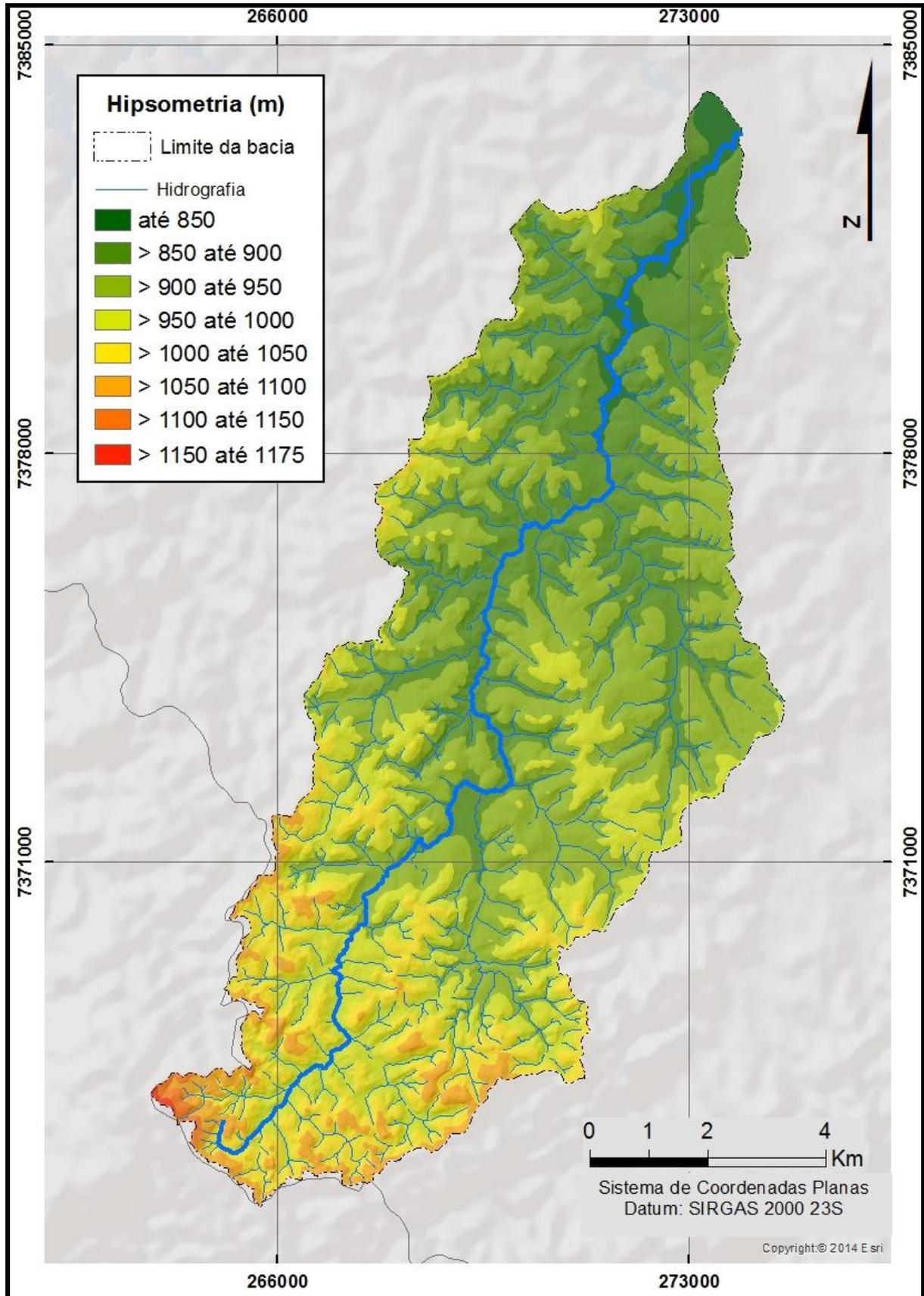
O MDT apresentado na Figura 5.1 demonstra a amplitude hipsométrica da bacia com intervalos variando de 50 em 50 m, onde a porção sul apresenta as maiores cotas altimétricas com valores de até 1175 m, enquanto os pontos mais distantes, em direção ao exutório, atingem altitudes mínimas correspondentes a 850 m.

Cerca de 54% da área da bacia encontra-se representada por cotas altimétricas entre 900 a 1000 m, enquanto as cotas mais altas (> 1150 m a 1175 m) e baixas (até 850 m) representam as menores áreas com 0,06 e 2,85%, respectivamente (Tabela 5.5).

Tabela 5. 5 - Quantificação das áreas hipsométricas

Hipsometria (m)	Área (ha)	Área (%)
Até 850	275,35	2,85
> 850 – 900	2610,70	27,07
> 900 – 950	3357,01	34,81
> 950 – 1000	1899,53	19,70
> 1000 – 1050	1097,96	11,38
> 1050 – 1100	360,30	3,73
> 1100 - 1150	34,45	0,35
> 1150 - 1175	5,85	0,06

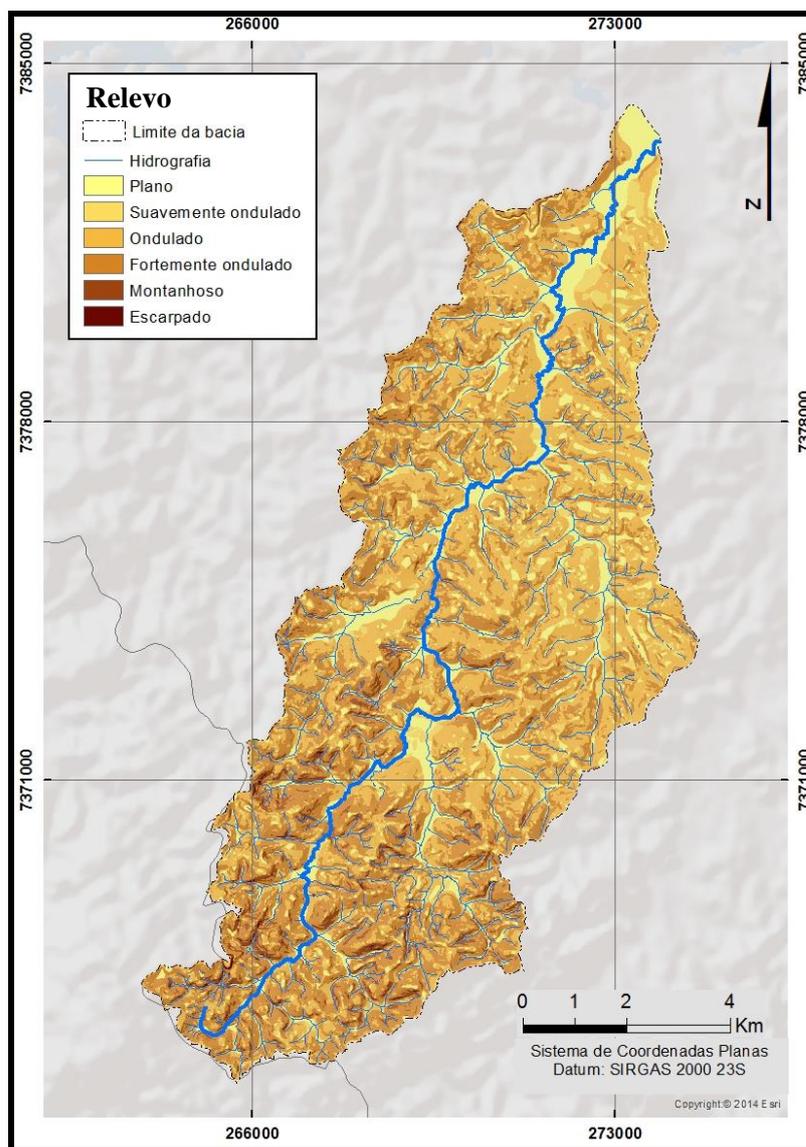
Figura 5. 1 - Hipsometria.



Fonte: Aatoria Própria.

A Figura 5.2 e a Tabela 5.6 apresenta as áreas de declividade e os valores de área de cada intervalo. O relevo ondulado é predominante, correspondendo as áreas que apresentam declive acima de 8% e seguem até os 20%.

Figura 5. 2 - Relevo segundo os percentuais de declividade.



Fonte: Autoria Própria.

Tabela 5. 6 - Quantificação das áreas de relevo segundo os percentuais de declividade

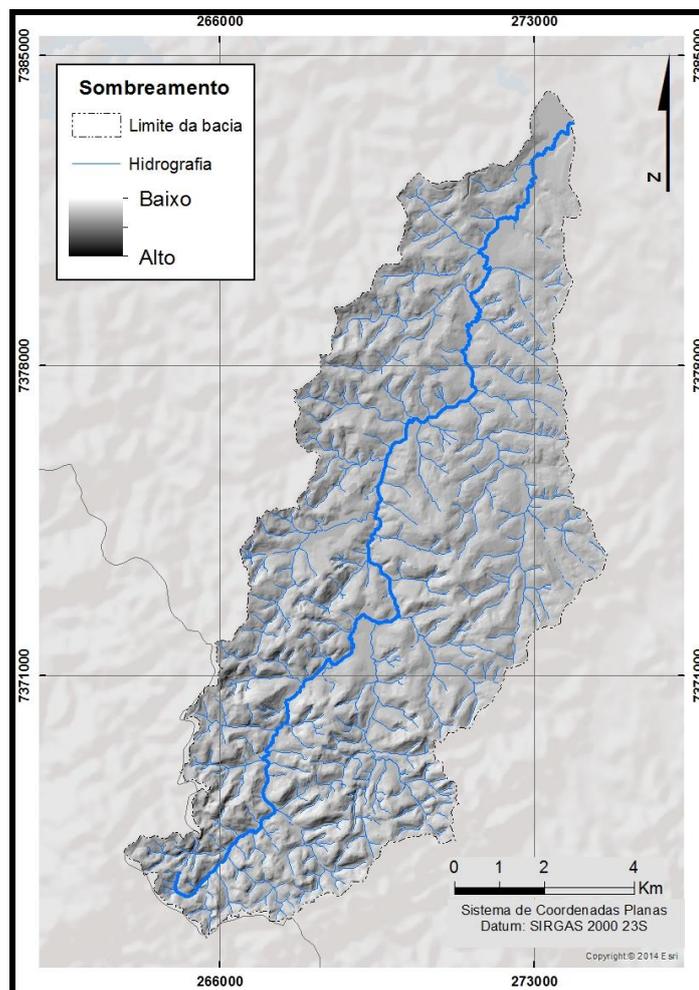
Declividade (%)	Situação do relevo	Área (ha)	Área (%)
Até 3	Plano	1.342,59	13,93
> 3 até 8	Suavemente ondulado	673,16	6,98
> 8 até 20	Ondulado	3.959,33	41,07
> 20 até 45	Fortemente ondulado	3.295,57	34,18
> 45 até 75	Montanhoso	353,35	3,67
> 75	Escarpado	16,42	0,17

Áreas pontuais ao norte são classificadas com declividade acima de 45%, assim como as áreas já declivosas ao sul, que juntas representam 3,87% de todo o território da bacia. O conhecimento da declividade da bacia hidrográfica auxilia no cumprimento da legislação, do manejo e a gestão dos recursos hídricos, especificamente do mapeamento de águas subterrâneas, do planejamento adequado do uso da terra e a prevenção à perda de solo (MAGESH et al., 2013; MOGHADDAM et al. 2015; TONELLO et al., 2006).

Na bacia, os relevos montanhoso e escarpado apresentam áreas isoladas de declividade acima de 45% ou 75% ao sul (Figura 5.2). A perda de solo em bacias hidrográficas estão associadas com os maiores níveis de declividade, e apesar destas áreas representarem os menores percentuais de declive, estudos aprofundados são necessários para a confirmação dessa ocorrência (MAGESH et al., 2013).

As áreas sombreadas encontram-se localizadas ao sul, conforme observado na Figura 5.3. Pode-se afirmar que a bacia apresenta alta taxa de luminosidade.

Figura 5. 3 - Sombreamento do terreno.

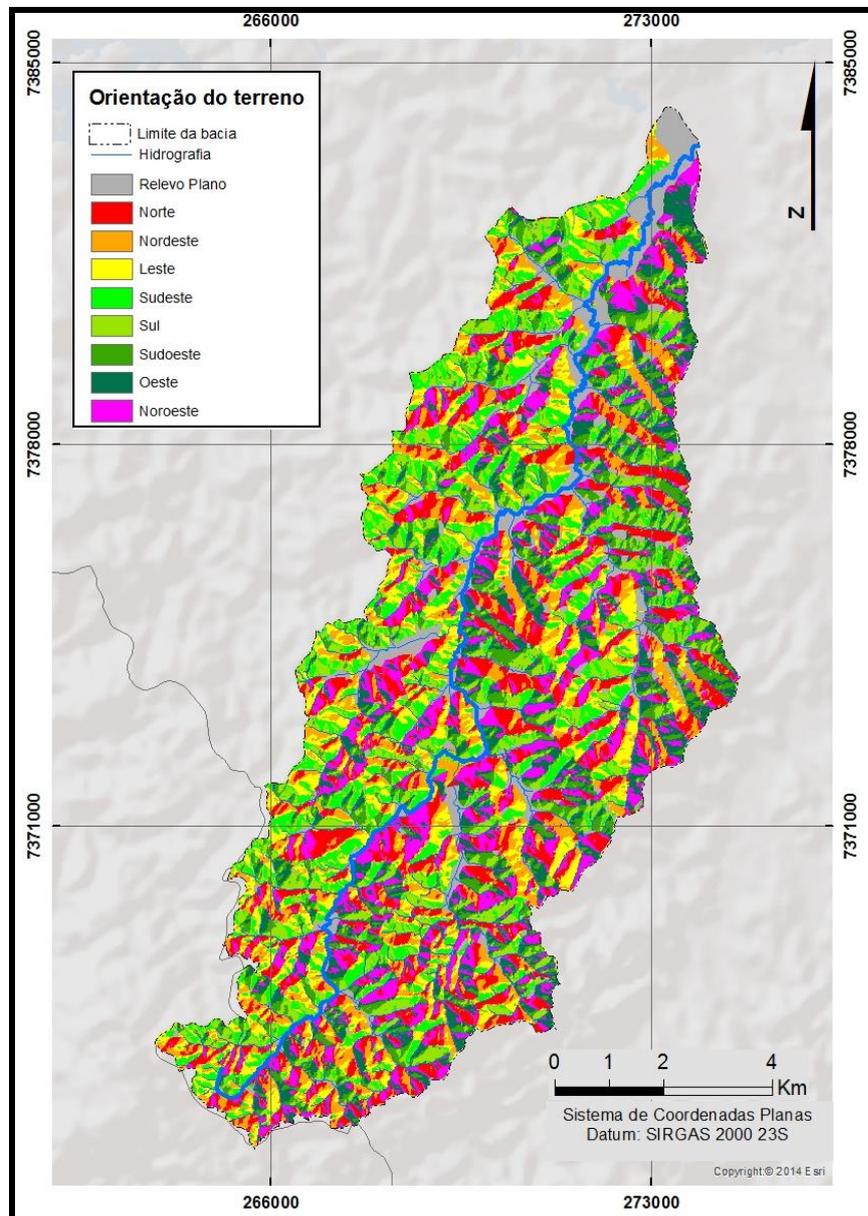


Fonte: Autoria Própria.

Estes fatores corroboram para um maior aproveitamento do terreno quando considerada a sua vocação para a atividade agropecuária, já que a incidência de luminosidade permite o cultivo de espécies que demandam maior captação de luz para seus processos fotossintéticos. Por outro lado, esses aspectos podem também ser observados para o desenvolvimento de recomposição florestal com espécies nativas que apresentem desenvolvimento fisiológico conforme a maior exposição à luminosidade.

A Figura 5.4 apresenta a orientação das vertentes do terreno da bacia. Na Tabela 5.7 é apresentado o quantitativo de área para cada orientação do terreno.

Figura 5. 4 - Orientação da vertente do terreno.



Fonte: Autoria Própria.

Tabela 5. 7 - Quantificação das áreas e sua orientação da vertente do terreno

<b>Graus</b>	<b>Orientação</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
0	Plano	984,35	10,20
Até 22,5	Norte	674,71	7,00
> 22,5 até 67,5	Nordeste	1170,43	12,14
> 67,5 até 112,5	Leste	993,86	10,30
> 112,5 até 157,5	Sudeste	1088,19	11,30
> 157,5 até 202,5	Sul	954,55	9,90
> 202,5 até 247,5	Sudoeste	882,57	9,16
> 247,5 até 292,5	Oeste	992,43	10,30
> 292,5 até 337,5	Noroeste	1242,65	12,90
> 337,5 até 360	Norte	656,16	6,80

É possível afirmar que há uma predominância de terreno com vertente orientada ao norte (13,80%), noroeste (12,90%), seguida da orientação para o nordeste (12,14%). Estudos similares indicam que a orientação da vertente do terreno influencia diretamente o quantitativo de vegetação, padrões de precipitação, exposição do terreno ao vento, evapotranspiração e produtividade de água subterrânea em bacias hidrográficas. Assim, a vertente do relevo é um produto morfométrico e cartográfico que deve ser considerado para a avaliação de processos bióticos e abióticos (MAGESH et al., 2013; MOGHADDAM et al., 2015; RAZANDI et al., 2015).

As características geométricas e da rede de drenagem são apresentadas na Tabela 5.8. A bacia apresenta uma área de 96 km<sup>2</sup> e perímetro de 75 km. A forma da bacia é irregular e alongada, confirmada pelo KC alto e pelos baixos valores de FF e IC, indicando baixa possibilidade de enchentes e baixa concentração do deflúvio em alta precipitação.

O comprimento da bacia equivale a 19,74 km e largura de 4,88 km, revelando o seu alongamento como uma característica peculiar do tempo de percurso da água e a boa capacidade para recarga de águas subterrâneas, o que não ocorre em bacias curtas (BAJABAA; MASOUD; AMRI, 2014).

A drenagem possui ramificação do tipo dendrítica e padrão sinuoso, já que o coeficiente de sinuosidade aproximou-se do valor de 1. Quanto maior a ramificação da drenagem da bacia, mais eficiente pode ser considerado o seu sistema de drenagem e escoamento máximo, principalmente em áreas altas (BAJABAA; MASOUD; AMRI, 2014; MORISAWA, 1975; STRAHLER, 1957).

O curso principal possui 25,50 km de extensão e a drenagem total corresponde a 207,04 km.

Tabela 5. 8 - Características geométricas e da rede de drenagem

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
Área da bacia (A)	96,42 km <sup>2</sup>
Perímetro da bacia (P)	75,56 Km
Comprimento da bacia (L)	19,74 Km
Largura da bacia	4,88 Km
Altitude média da bacia	937 m.s.n.m
Declividade média	10,61 Graus
Declividade média	18,56 %
Coefficiente de compacidade (KC)	2,17 adm.
Índice de circularidade (IC)	0,33 adm.
Fator de forma (FF)	0,24 adm.
Altitude inicial do curso principal	1025 m.s.n.m
Altitude final do curso principal	850 m.s.n.m
Coefficiente de sinuosidade hidráulico	1,29 adm.
Densidade da drenagem	2,14 km/km <sup>2</sup>
Tempo de concentração	5,44 H
Ordem dos cursos	5 Ordens
Comprimento total do curso	207,04 Km
Comprimento do curso principal	25,5 Km
Comprimento direto do curso principal	19,74 Km
Padrão de drenagem	Dendrítico

A Figura 5.5 e a Tabela 5.9 apresenta as características de comprimento total e o percentual das ordens dos cursos d'água (classificação de Strahler).

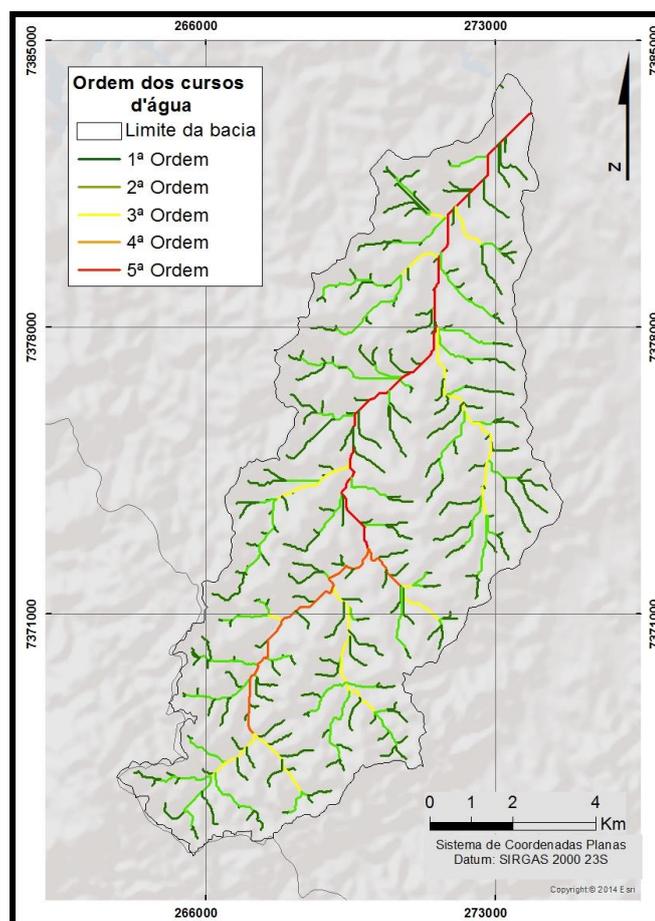
Os cursos de primeira e segunda ordem representam mais de 75% do comprimento total da drenagem, aproximando-se de 170 km de extensão. A área estudada assemelha-se aos achados de Magesh et al. (2013) que também obteve a maior frequência de fluxos de primeira ordem e em áreas de maior altitude, observando uma relação direta entre essas características e a presença de rocha compactada no terreno.

O perfil longitudinal do rio Una é apresentado na Figura 5.6, com suas respectivas relações entre elevação e distância da água percorrida.

Tabela 5. 9 - Comprimento das ordens de cursos d'água

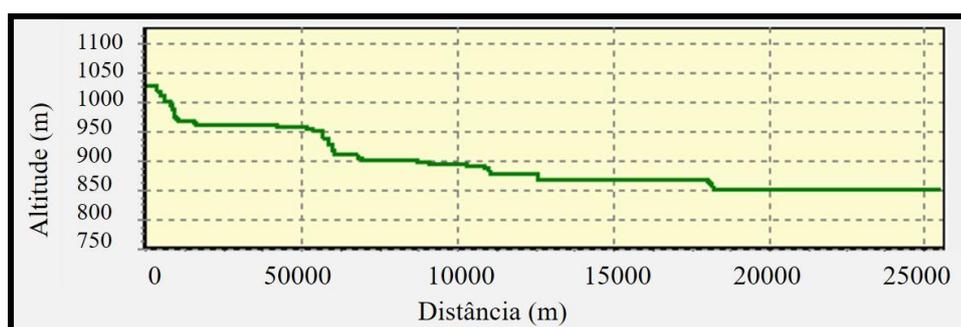
<b>Ordem</b>	<b>Comprimento</b>	<b>%</b>
1 <sup>a</sup>	109,9 km	53,07
2 <sup>a</sup>	56,30 km	27,20
3 <sup>a</sup>	19,88 km	9,60
4 <sup>a</sup>	7,95 km	3,83
5 <sup>a</sup>	13,03 km	6,30

Figura 5. 5 - Ordem dos cursos d'água.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 5. 6 - Perfil do curso principal.



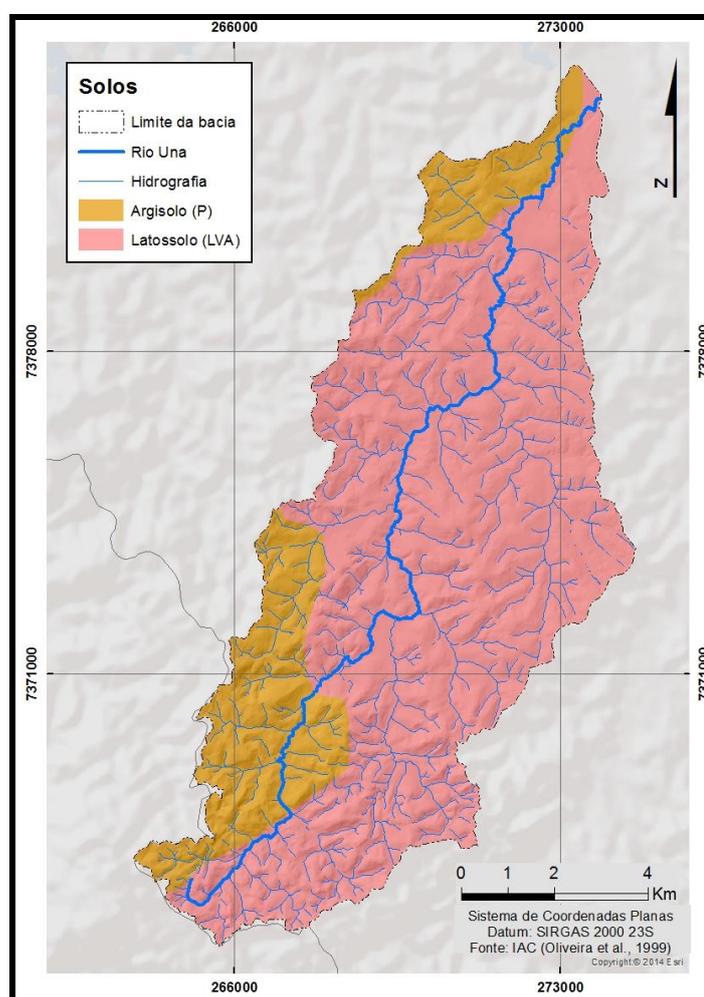
Fonte: Autoria Própria.

Observou-se que a elevação é constante no momento em que o rio Una atinge aproximadamente 20 km de extensão, sendo a altitude inicial do curso principal de 1025m e a altitude final de 850m. A bacia apresenta uma densidade de drenagem correspondente a 2,14 km/km<sup>2</sup>, considerada boa, já que drenagens ruins alcançam 0,5 km/km<sup>2</sup> e as bem drenadas correspondem a 3,5 km/km<sup>2</sup> (VILLELA; MATTOS, 1975).

O tempo de concentração da água até o exutório foi equivalente a 5,44h, deduzindo um tempo entre médio e alto e a direção do fluxo foi identificado do sul para o nordeste. Segundo Ferrari et al. (2013), a bacia tende a ser drenada de acordo com a maior taxa de orientação do terreno. Como a orientação da bacia possui maior percentual para o norte, o seu fluxo foi verificado para a mesma direção.

Com relação às características dos solos, a bacia encontra-se situada entre os níveis de ordem de solos do tipo Latossolo e Argissolos. A distribuição espacial das classes pedológicas pode ser observada na Figura 5.7.

Figura 5. 7 - Solos.



Fonte: Autorial Própria.

Os Argissolos são constituídos por material mineral, profundidade variável, podendo ser forte a imperfeitamente drenados e forte a moderadamente ácidos. A presença de argila no horizonte B pode ser de baixa atividade textural ou alta quando saturada por bases (EMBRAPA, 2006). Os Latossolos são profundos e apresentam estágio avançado de intemperização, ocorrendo relevo do tipo plano e suavemente ondulado. Caracterizam-se por

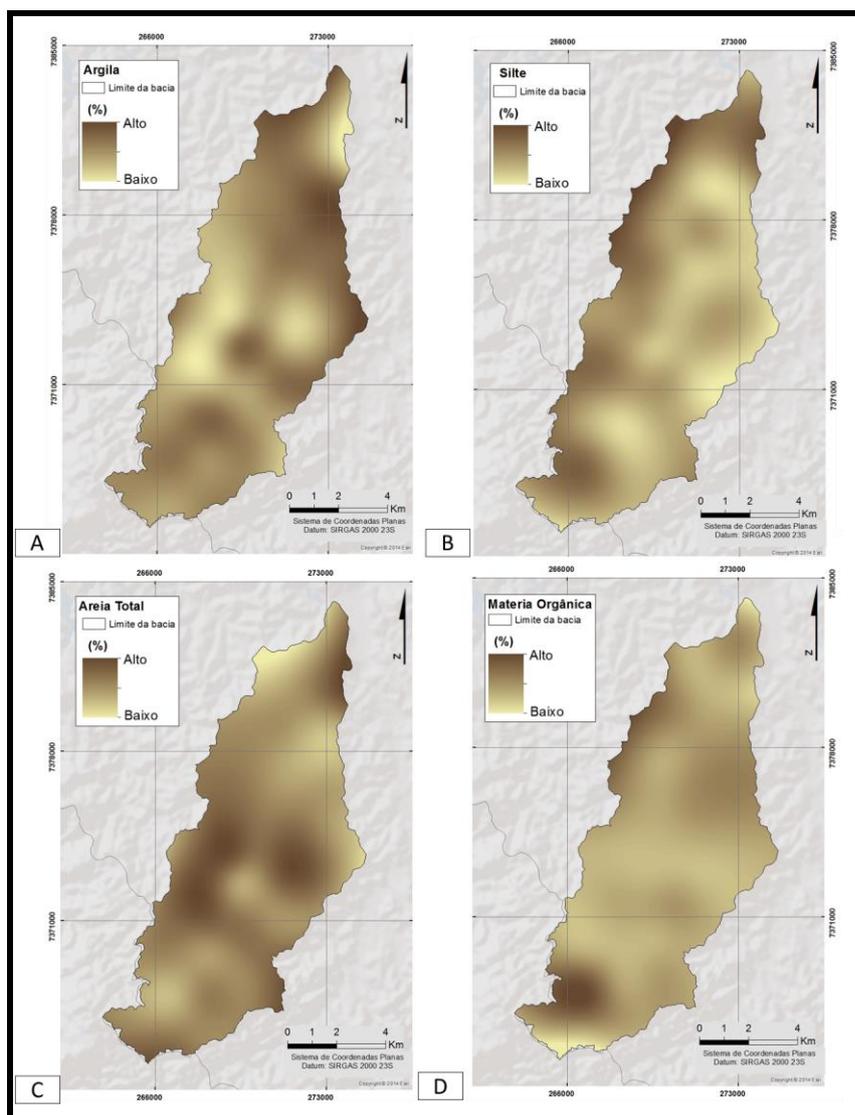
solos fortemente a bem drenados, fortemente ácidos, distróficos ou alumínicos e, em consequência do teor de chuva, são lixiviados até grandes profundidades (BRANCO; CAVINATTO, 1999; EMBRAPA, 2006).

Quanto aos percentuais de textura destes solos, as características podem ser observadas na Tabela 5.10 e a espacialização na Figura 5.8.

Tabela 5. 10 - Percentuais das frações de argila, silte, areia total e matéria orgânica.

Amostras	%			Textura	Matéria Orgânica	Tipo de uso da terra
	Silte	Argila	Areia Total			
1	13,35	49,15	37,50	Argilosa	19,47	Comunidade aluvial
2	18,15	39,70	42,15	Franco-argilosa	36,81	Comunidade aluvial
3	16,00	24,45	59,55	Franco-argilo-arenosa	10,64	Floresta Ombrófila Densa
4	18,30	58,90	22,80	Argilosa	18,08	Floresta Ombrófila Densa
5	7,75	57,65	34,60	Argilosa	22,00	Floresta Ombrófila Densa
6	5,82	52,78	41,40	Argilosa	27,02	Cultivos temporários diversificados
7	15,50	42,53	41,98	Argilosa	42,37	Floresta Ombrófila Densa
8	13,75	52,45	33,80	Argilosa	33,00	Edificações rurais
9	11,75	43,10	45,15	Argilo-arenosa	22,32	Cultivos temporários diversificados
10	21,30	26,10	52,60	Franco-argilo-arenosa	40,92	Floresta Ombrófila Densa
11	6,95	53,95	39,10	Argilosa	40,19	Edificações rurais
12	6,90	49,35	43,75	Argilosa	34,37	Silvicultura
13	13,50	36,15	50,35	Argilo-arenosa	24,42	Cultivos temporários diversificados
14	11,00	46,25	42,75	Argilosa	30,00	Cultivos temporários diversificados
15	11,45	27,05	61,50	Franco-argilo-arenosa	24,22	Floresta Ombrófila Densa
16	11,43	29,67	58,90	Franco-argilo-arenosa	20,23	Cultivos temporários diversificados
17	14,20	23,95	61,85	Franco-argilo-arenosa	21,93	Floresta Ombrófila Densa
18	6,62	52,35	41,02	Argilosa	16,95	Cultivos temporários diversificados
19	10,90	24,00	65,10	Franco-argilo-arenosa	14,62	Floresta Ombrófila Densa
20	7,55	54,55	37,90	Argilosa	16,65	Silvicultura
21	12,20	25,35	62,45	Franco-argilo-arenosa	15,41	Floresta Ombrófila Densa
22	7,75	50,43	41,83	Argilosa	28,62	Cultivos temporários diversificados
23	11,95	45,98	42,07	Argilosa	29,68	Cultivos temporários diversificados
24	14,75	21,72	63,53	Franco-argilo-arenosa	23,80	Floresta Ombrófila Densa
25	16,80	27,35	55,85	Franco-argilo-arenosa	14,47	Cultivos temporários diversificados
26	11,08	36,72	52,20	Argilo-arenosa	19,20	Campo degradado
27	4,95	56,90	38,15	Argilosa	16,73	Cultivos temporários diversificados
28	12,00	40,55	47,45	Argilo-arenosa	18,05	Floresta Ombrófila Densa
29	14,17	25,47	60,35	Franco-argilo-arenosa	25,64	Floresta Ombrófila Densa
30	9,65	45,00	45,35	Argilo-arenosa	28,07	Cultivos temporários diversificados
31	10,43	41,77	47,80	Argilo-arenosa	30,13	Floresta Ombrófila Densa
32	20,45	49,75	29,80	Argilosa	67,09	Floresta Ombrófila Densa
33	11,15	44,65	44,20	Argilo-arenosa	27,52	Cultivos temporários diversificados
34	16,30	38,13	45,57	Argilo-arenosa	32,84	Cultivos temporários diversificados
35	13,05	40,80	46,15	Argilo-arenosa	28,47	Cultivos temporários diversificados

Figura 5. 8 - Textura e matéria orgânica dos solos.



Fonte: Autoria Própria.

A argila variou entre 21% a 59% enquanto o silte encontrou-se entre 4% a 21%, a areia total entre 22% e 67% e a matéria orgânica entre 10% a 67%. Os teores de argila e matéria orgânica apresentaram maior dispersão e heterogeneidade entre os pontos amostrais, quando comparados aos percentuais de silte.

Conforme a espacialização há uma tendência de maiores percentuais de argila no setor leste, centro-oeste e oeste. A areia total possui distribuição homogênea no território, mas as menores taxas encontram-se ao norte. Para a matéria orgânica, maiores percentuais ao oeste e sudoeste da área foram verificados.

Quanto a textura do solo no uso da terra, os cultivos temporários e a floresta ombrófila densa apresentaram maior variabilidade entre os pontos amostrais, enquanto a distribuição

desses percentuais variaram em torno de 10% para comunidades aluviais e edificações rurais. As áreas de florestas e cultivos temporários apresentaram solos com textura que variam entre argilosa a argilo-arenosa. A comunidade aluvial apresenta solos com características argilosa a franco-argilosa enquanto as edificações rurais e silvicultura apresentaram solos com textura argilosa.

Quanto a matéria orgânica, esse atributo do solo é originário de resíduos vegetais em decomposição, fragmentos de carvão, substâncias húmicas, biomassa microbiana, além dos compostos orgânicos naturalmente presentes no solo.

Esses materiais conjugam-se aos minerais em porções variadas e representam uma importante fração do solo que deve ser considerada na análise ambiental, não somente por ser a principal fonte nutritiva da cobertura vegetal, mas pela sua capacidade de aumentar a porosidade do solo e por ações de decomposição rápida que geram gás carbônico, água e sais minerais (BRANCO; CAVINATTO, 1999; EMBRAPA, 2006).

Predominou-se valores entre 10% e 67% e uma distribuição bastante diversificada em torno dos usos e cobertura vegetal. As florestas apresentaram a maior variabilidade em termos de matéria orgânica, apresentando consistência pegajosa, devido ao húmus, que mantém o solo úmido, fixando água e boa aderência ao se ligar com as partículas de argila e areia, dificultando a erosão e fixação de sais nutritivos (BRANCO; CAVINATTO, 1999).

A silvicultura e a comunidade aluvial apresentaram pontos com bastante diferença percentual, enquanto os cultivos temporários variaram entre 14 a 32%. Os cultivos agrícolas que apresentam solos com vasta utilização da mecanização e revolvimento ao menos duas vezes ao ano, variando entre 12 a 32%. Os baixos valores de matéria orgânica observados provocam maior capacidade de adensamento, encrostamento e perda da característica da porosidade do solo.

---

---

## CAPÍTULO VI

### Avaliação de fragmentos florestais de mata atlântica na bacia hidrográfica do rio Una

---

---

#### Resumo

Considerando a intrínseca relação entre vegetação e conservação dos recursos hídricos, objetivou-se avaliar a vegetação natural de mata atlântica através de métricas da paisagem e índices espectrais de vegetação, indicando caminhos para a sua conservação na bacia hidrográfica do rio Una, Ibiúna, São Paulo. Processou-se a partir dos vetores dos fragmentos florestais da bacia, a análise das métricas de paisagem e a extração de valores da média de altitude, declividade e distância da rede de drenagem para cada fragmento. Aplicou-se os índices de vegetação por diferença normalizada, de produção fotoquímica e fluxo de carbono através da combinação de bandas espectrais do vermelho, verde, azul e infravermelho próximo da imagem satélite RapidEye. Os resultados mostraram 197 fragmentos com tamanhos que variam entre 1 a 306 hectares e com formas irregulares. Os fragmentos maiores encontram-se em número reduzido, mas correspondem a 52% da área de cobertura vegetal da bacia. A vegetação apresentou níveis elevados de biomassa, mas uma produção fotossintética moderada, coincidindo para um fluxo de carbono também moderado. Identificou-se que os melhores escores estavam relacionados a fragmentos em altitudes mais elevadas, declivosas e com proximidade da drenagem. As ações para conservar os fragmentos de maiores áreas e traçar medidas de conscientização ambiental devem ser estimuladas, considerando que a alta vocação agrícola pode incitar a redução destas áreas para o aumento da produção econômica local.

**Palavras-chave:** Fragmentação. Recursos hídricos. Índices de vegetação. Floresta Atlântica.

#### 1. Métodos

##### 1.1 Mapeamento dos fragmentos florestais

Para a análise das métricas e avaliação espectral dos fragmentos, foram selecionados os vetores correspondentes aos fragmentos florestais de mata atlântica, mapeados concomitantemente ao mapeamento do uso da terra. Considerando a densidade de atividades na bacia, selecionou-se para compor o estudo todos os vetores de fragmentos iguais ou maiores que 1 hectare. A classificação do tamanho foi realizada de acordo com Pirovani et al. (2014), em < 5 ha (fragmentos pequenos), 5 – 50 ha (fragmentos médios) e > 50 ha (fragmentos grandes).

## 1.2 Avaliação das métricas dos fragmentos florestais

As métricas de cada fragmento foram calculadas utilizando a extensão V-LATE (*Vector-based Landscape Analysis Tools Extension*) em associação ao *software* ArcGis 10.3 e ao Microsoft Excel 2010 (MICROSOFT, 2010; ESRI, 2014).

Para a análise, foram selecionadas métricas para fragmentos e para a classe de fragmentos, conforme Tabela 6.1.

Tabela 6. 1 - Métricas da paisagem para classe de fragmentos e para os fragmentos utilizadas na análise

Nível	Métrica	Sigla	Unidade	Valores
Classe	Área da Classe	CA	ha	[0 - ∞[
	Número de Fragmentos por classe	NP	adm.	[0 - ∞[
	Densidade de bordas	ED	m/ha	[0 - ∞[
	Total de bordas	TE	m	
	Tamanho médio da mancha	MPS	ha	[0 - CA[
	Média das bordas dos fragmentos	MPE	m	
	Índice de Forma	SHAPE	adm.	[1 - ∞[
Fragmento	Área	ÁREA	ha	[0 - ∞[
	Perímetro	PERIM	m	[0 - ∞[
	Relação Perímetro/Área	PARA	adm.	[0 - ∞[
	Dimensão Fractal	FRAC_DIM		

Fonte: Adaptado de Lang e Blaschke (2009) e McGarigal (2015).

## 1.3 Avaliação de fragmentos florestais e características físicas da bacia

Os fragmentos foram correlacionados com as características de altitude, declividade e distância da rede de drenagem.

A hipsometria da bacia foi gerada conforme a construção do Modelo Digital do Terreno (MDT), derivado das curvas de nível e pontos cotados extraídos por vetorização convertidos e submetidos a geração do TIN e de sua conversação em arquivo matricial (IGC, 1978; ESRI, 2014). A declividade foi gerada conforme processamento do MDT no comando *Slope* e posterior fatiamento em classes de percentuais de declividade, conforme classificação em relevo plano, suavemente ondulado, ondulado, fortemente ondulado, montanhoso e escarpado (EMBRAPA, 2006).

Foram extraídos com o comando *Zonal Statistics*, as médias dos valores correspondentes a altitude e a declividade para cada fragmento florestal. A distância entre a

rede de drenagem e fragmentos foi avaliada com o comando *Generate Near Table*. Todos os procedimentos de análise espacial foram realizados no *software* ArcGis 10.3 (ESRI, 2014).

#### 1.4 Avaliação espectral dos fragmentos florestais

Para a avaliação espectral da qualidade da vegetação utilizou-se as bandas espectrais da imagem do satélite RapidEye, do mês de novembro, do ano de 2013. Aplicou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), de acordo com o proposto por Rouse et al. (1974):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

Onde:

RED = banda do sensor referente à faixa do vermelho; e

NIR = banda do sensor referente à faixa do infravermelho próximo.

O NDVI apresenta como resultado uma imagem índice com intervalo entre -1 a +1, considerando que a vegetação saudável encontra-se em torno dos valores que correspondem a 0,2 e 0,8, mas apenas os escores iguais ou maiores 0,5 representam vegetação florestal com concentração de biomassa (ROUSE et al., 1974; SOBRINO; RAISSOUNI, 2000; ZANZARINI et al, 2013; JOHANSEN e TOMMERVIK, 2014; MEI et al., 2015).

A reflectância fotoquímica dos fragmentos foi mapeada com base no índice de reflectância fotoquímica - PRI (*Photochemical Reflectance Index*), identificando as áreas de maior eficiência fotossintética através da relação entre a feição de absorção na região do espectro eletromagnético do azul e o pico de reflectância da vegetação na região do espectro eletromagnético do verde (PEDROZA DA SILVA; BAPTISTA, 2015), segundo o proposto por Gamon (1992):

$$\text{PRI} = (\text{BLUE} - \text{VERDE}) / (\text{BLUE} + \text{GREEN})$$

Onde:

PRI é o índice de reflectância fotoquímica;

BLUE = banda do sensor referente à faixa do azul; e

VERDE = banda do sensor referente à faixa do verde.

Os valores do PRI foram reescalados para valores positivos, gerando o índice sPRI (*Photochemical Reflectance Index rescheduled for positive values*), buscando normalizar o intervalo em 0 e 1, conforme equação abaixo:

$$sPRI = (PRI + 1) / 2$$

O fluxo de carbono foi calculado com o cruzamento dos índices NDVI e sPRI, gerando o índice CO<sub>2</sub>Flux (Carbon Flux), conforme equação proposta por Rahman et al. (2000):

$$CO_2Flux = NDVI * sPRI$$

## 2. Resultados e Discussão

Os fragmentos florestais de Floresta Ombrófila Densa Montana foram quantificados em 197 fragmentos e respondem por 37% da área territorial da bacia do rio Una. Em estudos de fragmentos de área florestal em bacias hidrográficas têm-se observado valores semelhantes ao deste estudo. No Chile, Bizama et al. (2011) observou que somente 45% dos fragmentos cobriam a bacia hidrográfica do rio Aysén enquanto Valente e Vettorazzi (2002) observaram que apenas 34% da bacia de Corumbataí, em São Paulo, estava coberta por vegetação.

Essas taxas de fragmentação podem ser explicadas pelo tipo de uso da terra, que permite usos antrópicos de origem agrícola e urbana ao redor da vegetação, tornando-os barreiras para o fluxo da fauna e flora e para a manutenção da biodiversidade local nestes ecossistemas. Têm-se que quanto maior a vocação econômica da área, maior tende a ser a sua taxa de desflorestamento para novas áreas produtivas (VALENTE; VETTORAZZI, 2002; MUCHAILH et al., 2010; BIZAMA et al., 2011; GOERL et al., 2011).

As métricas para as classes e para os fragmentos podem ser observadas nas Tabelas 6.2 e 6.3, respectivamente.

Tabela 6. 2 - Métricas da classe dos fragmentos florestais

NÍVEL	GRUPO	METRICA	RESULTADO
Classe	Área	Área da classe	3.589 ha
		Número de fragmentos	197 fragmentos
	Tamanho	Tamanho médio da mancha	17 ha
		Desvio padrão do tamanho da mancha	3.786
	Borda	Densidade de bordas	266 m/ha
		Total de bordas	905 m

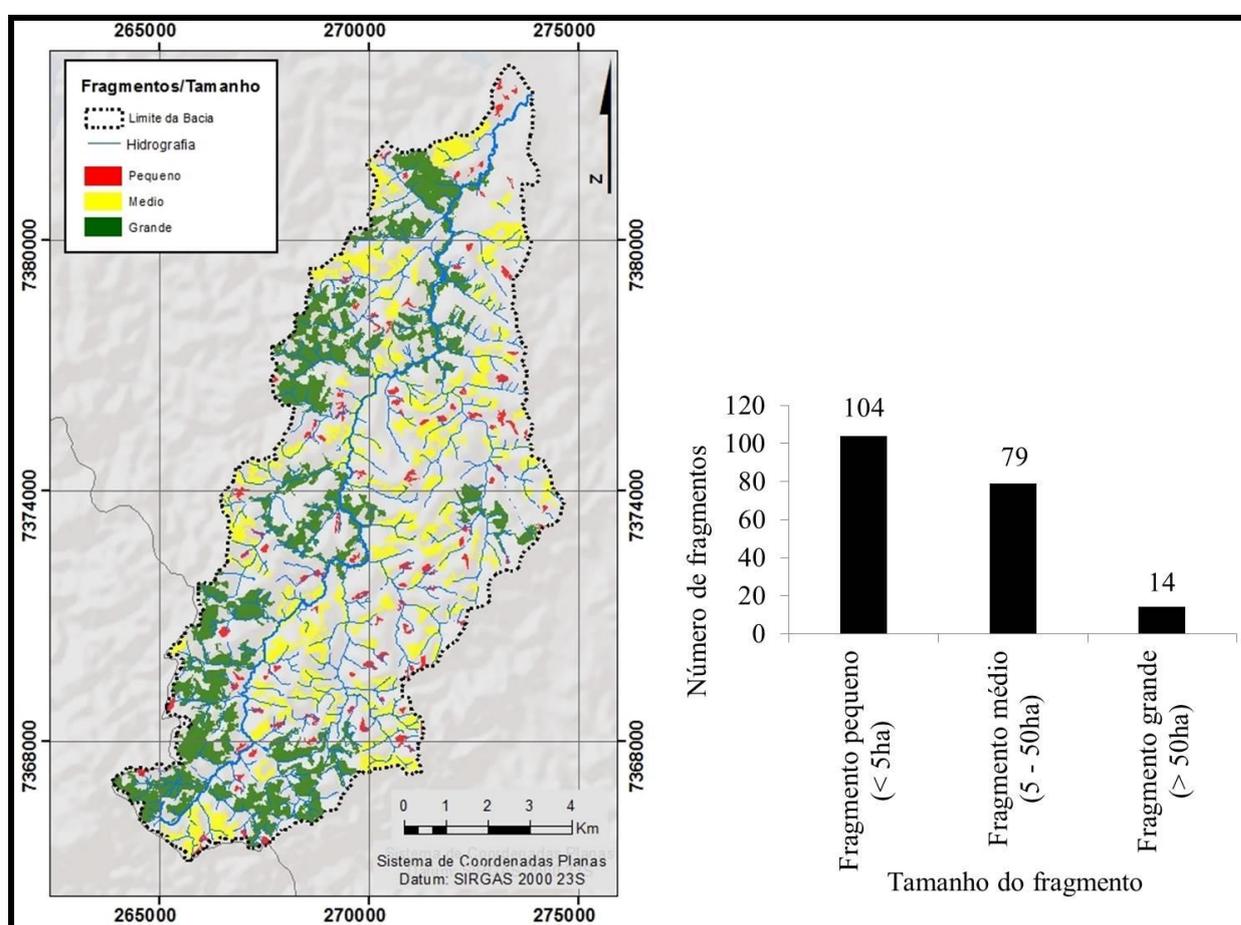
Tabela 6. 3 - Métricas dos fragmentos florestais

NÍVEL	GRUPO	METRICA	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
Fragmento	Área	Área do fragmento	1 ha	17 ha	306 ha	37,96
		Perímetro do fragmento	550 m	4594 m	63270 m	80085,78
		Relação perímetro/área	0,01	0,04	0,12	0,01
		Dimensão fractal	1,30	1,41	1,55	0,04
	Forma	Índice de forma	1,36	3,04	11,50	1,49

O tamanho da mancha foi estimado em 3.589 ha, tamanho médio de 17 hectares, 905 metros de bordas e densidade média de 266 m/ha. O tamanho das manchas está interligado com muitos processos ecossistêmicos que necessitam de um mínimo de área contígua preservada para ocorrerem. O contrário, configura o efeito de borda denominado pela ação de fatores externos que afetam os fragmentos e predispõe o sistema ecológico a danos (CASTRO; FERREIRA, 2009; WULDER et al., 2009).

O maior quantitativo de fragmentos encontram-se com tamanhos menores que 5 ha e representam 53% do total, enquanto os fragmentos médios representam 40% e os de maiores tamanhos totalizam 7% (Figura 6.1).

Figura 6. 1 - Tamanho dos fragmentos florestais.



Fonte: Autoria Própria. Ano da imagem: 2013.

A ocorrência de grande quantidade de pequenos fragmentos florestais tem sido comum em paisagens de Floresta Atlântica e também registrado em áreas de bacias, apontando que 40 a 50% dos territórios encontram-se com vegetação em pequenos fragmentos, devido ao crescimento econômico, expansão da pecuária, extração de madeira e introdução de espécies

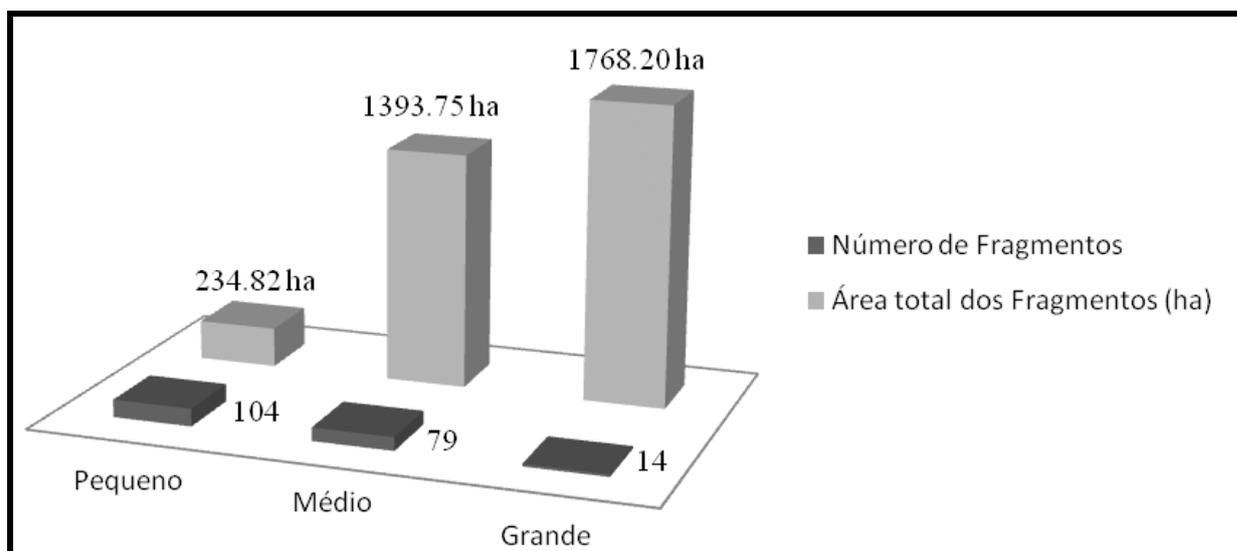
exóticas (VALENTE; VETTORAZZI, 2002; CALEGARI et al., 2010; BIZAMA et al., 2011; PIROVANI et al., 2014).

Devido a bacia do rio Una ser predominantemente agrícola, esse fator justifica a sua influência para a fragmentação local. Na bacia do Rio Poxim, em Sergipe, e na bacia de Santa Alice no sul do Brasil, a situação foi similar, em que as bacias por serem predominantemente agrícolas possuem os maiores percentuais de fragmentos florestais pequenos devido às práticas de plantio em talhões e a construção de estradas para o escoamento da produção (GOERL et al., 2011; JESUS et al., 2015).

A área dos fragmentos apresentou grande variação, sendo a área mínima correspondente a 1 ha e o máximo de 306 ha, enquanto o perímetro variou entre 550 m e 63.270 m.

Ocorre uma relação inversa entre o tamanho dos fragmentos e as suas respectivas áreas. Essa relação é evidenciada na Figura 6.2, denotando que embora fragmentos maiores estejam em menor número, estes apresentam área total equivalente a mais da metade da cobertura florestal (52%) enquanto os fragmentos menores estão em maior número, mas com menor área total de cobertura vegetal natural (7%).

Figura 6. 2 - Relação entre o número de fragmentos florestais e as suas respectivas áreas das classes de tamanho.



Fonte: Autoria Própria.

Esses resultados também foram observados nos estudos de Almeida e Moro (2007) e Pirovani et al. (2014) que identificaram um maior predomínio de remanescentes de mata

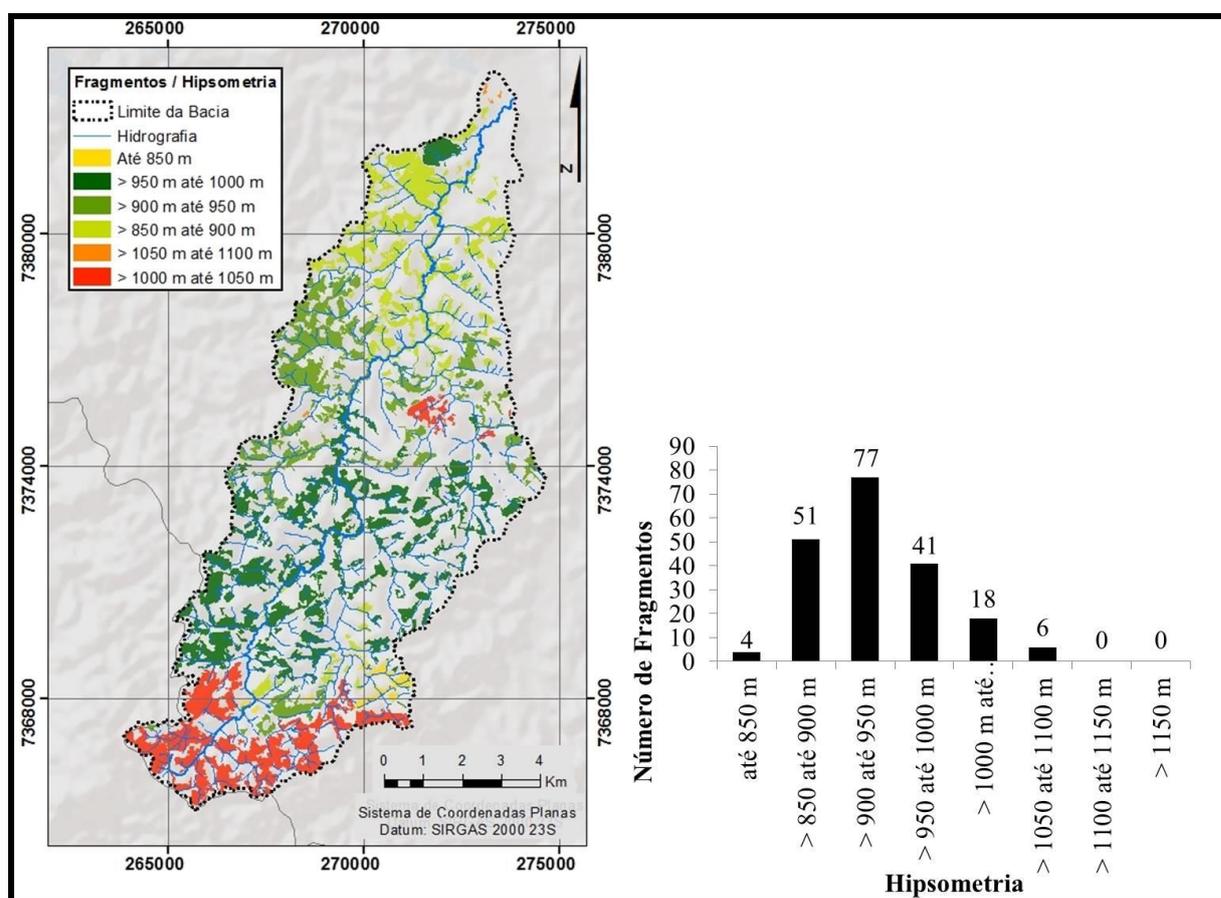
atlântica com elevado número de fragmentos pequenos, mas com baixa área total em seu somatório nas bacias hidrográficas e parques avaliados.

No índice de forma, foi observado um valor médio elevado e alta variabilidade em suas formas, podendo ser encontrado desde fragmentos circulares até fragmentos irregulares. O índice variou entre 1,3 a 1,5 e pode estar relacionados com taxas similares de efeito de borda.

A relação perímetro/área e a dimensão fractal também confirmam a variação das formas dos fragmentos, apontando o efeito de borda e sinuosidade sobre estas áreas. Para Pirovani et al. (2014) quanto maior for a relação perímetro/área do fragmento, maior será o efeito de borda e a irregularidade da sua forma, predispondo-o a fatores externos e perturbações antrópicas que culminam na comunidade ecológica como um todo.

Ao associar os fragmentos às características físicas de relevo, observou-se que o maior quantitativo de fragmentos encontram-se em altitude média de 850 a 950 m (Figura 6.3).

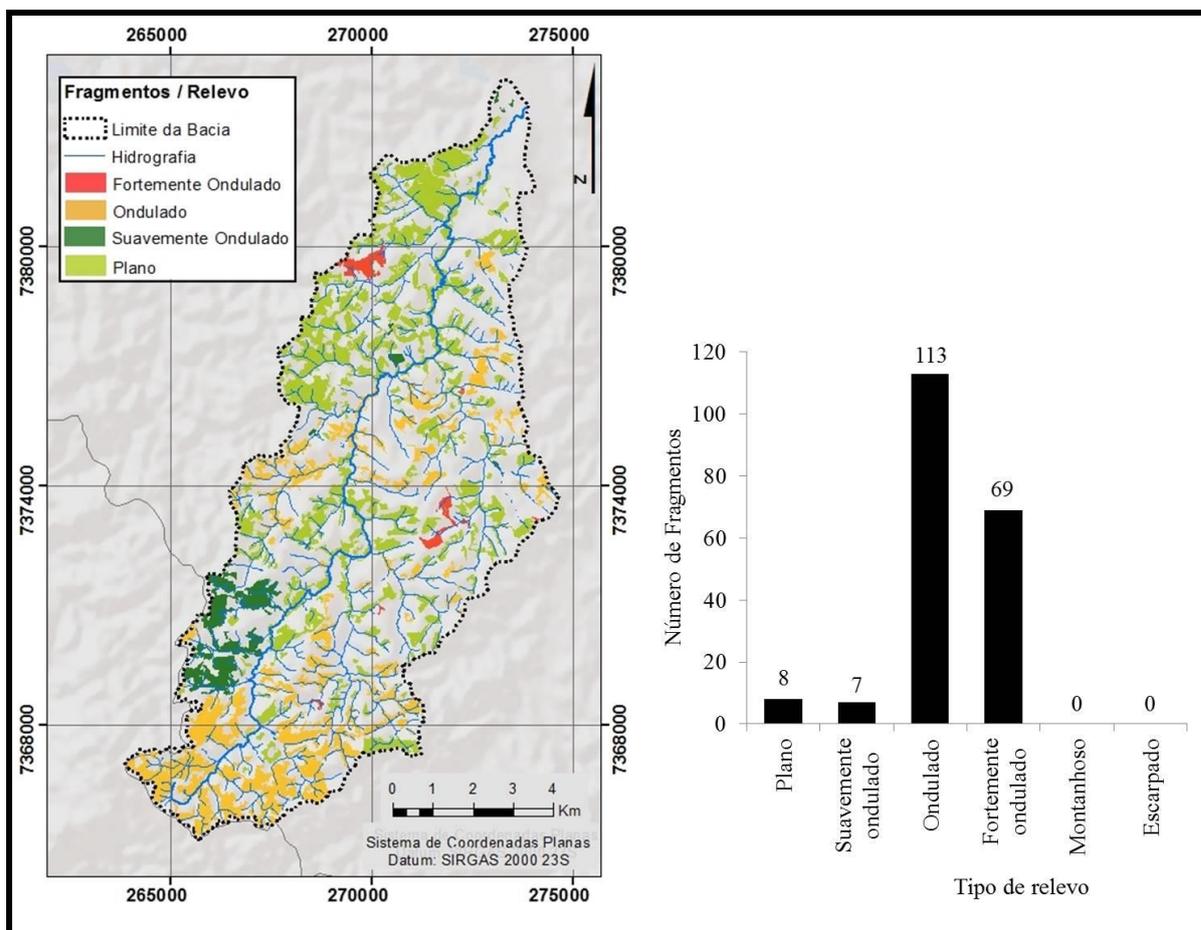
Figura 6.3 - Associação dos fragmentos florestais com a média hipsométrica.



Fonte: Autoria Própria.

Em relação ao declive, os fragmentos encontram-se em áreas do tipo onduladas e fortemente onduladas, possibilitando que a dificuldade de acesso e a presença de declive mantenha essas áreas intactas e conservadas (Figura 6.4).

Figura 6. 4 - Associação dos fragmentos florestais com a média de declividade.



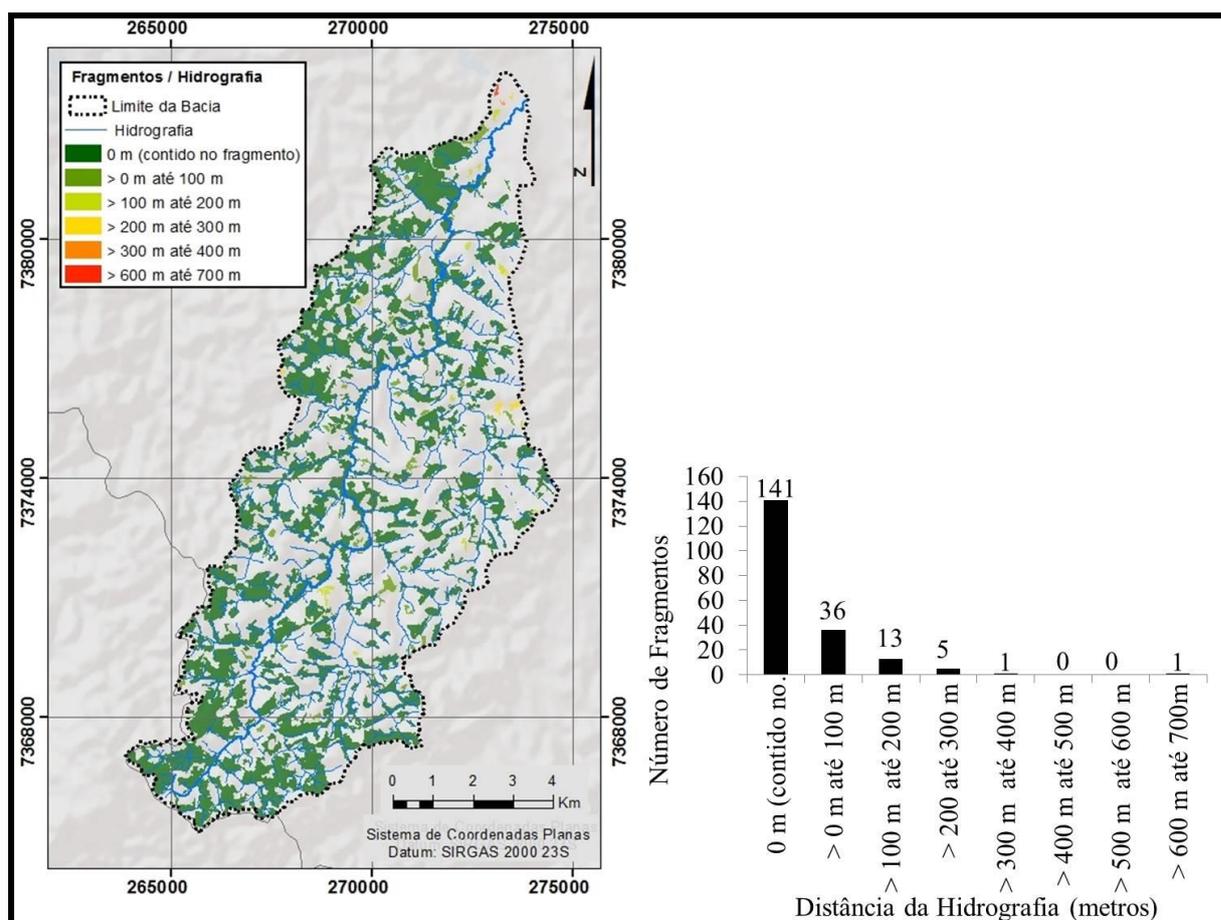
Fonte: Autoria Própria.

Embora não tenha sido verificado fragmentos em relevos montanhosos e escarpados, identificou-se que os três maiores fragmentos encontram-se ao sul da bacia, local que também concentram as áreas com as maiores altitudes. Em contraponto, as áreas com facilidade de acesso e ausência de declividade possuem as menores taxas de fragmentos, refletindo a alta incidência da ocupação urbana e de atividades agrícolas que tendem a suprimir as áreas naturais, como é observado na porção norte, onde a prevalência de relevo plano é comum.

A análise dos fragmentos com a rede de drenagem identificou que 141 fragmentos encontram-se com alguma drenagem contida em seu interior, reforçando a necessidade de conservação destas áreas para a manutenção da qualidade hídrica da bacia do rio Una. Dentre os demais fragmentos, 13 encontram-se com distância de até 200 m, enquanto outros 6

apresentam distância entre 300 m e 700 m. Os fragmentos mais distantes localizam-se próximo ao exutório da bacia, o que também pode ser reflexo do efeito de borda incidente, já que as áreas urbanas, de cultivo temporário e de pastagem respondem pelo entorno destes fragmentos (Figura 6.5).

Figura 6. 5 - Associação dos fragmentos florestais com a distância da hidrografia.



Fonte: Autoria Própria.

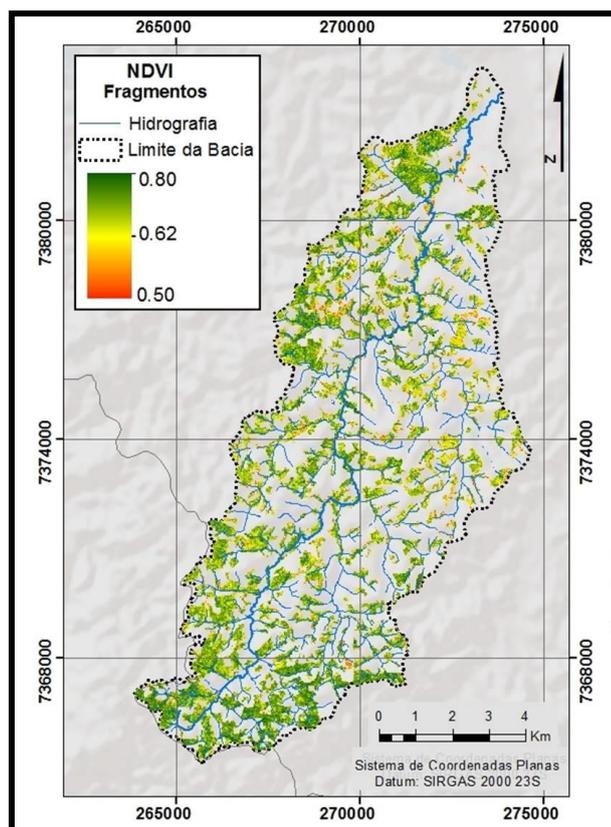
Em relação a análise espectral dos fragmentos florestais, os índices de vegetação gerados por meio do SR são importantes indicadores da qualidade vegetal, pois auxilia na compreensão do comportamento da reflectância no dossel e do estado da água em suas estruturas foliares. Neste sentido, estes índices se tornam ferramentas de ampla utilidade em estudos de cenários ambientais (AHAMED et al., 2011; DERMACHI et al., 2011).

Essa investigação é possível pelos comprimentos de ondas vermelhas que são absorvidos pelos cloroplastos enquanto o comprimento de onda do infravermelho próximo são refletidos durante a incidência da luz solar sobre a vegetação. Devido ao espectro ser único para a vegetação, se a reflectância do infravermelho próximo for muito maior do que a

reflectância do vermelho, pode-se considerar que há uma quantidade considerável de vegetação existente (JOHANSEN; TOMMERVIK, 2014).

Os valores obtidos para o NDVI variou no intervalo [0,50 – 0,80] com média de 0,62 (Figura 6.6).

Figura 6. 6 - NDVI e histograma dos fragmentos florestais.



Fonte: Autoria Própria. Ano da imagem: 2013.

O NDVI foi avaliado durante o período úmido na região, em que médias de precipitação estão concentradas em 129 mm para o mês de novembro, conforme série temporal disponibilizada pelo Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas de São Paulo, inferindo que pode haver uma influência da precipitação sobre a biomassa vegetal ativa (CIIAGRO, 2015). No estudo realizado por Ávila et al. (2014) os fragmentos de floresta ombrófila densa da bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha também apresentaram escores elevados de NDVI quando associados ao período úmido.

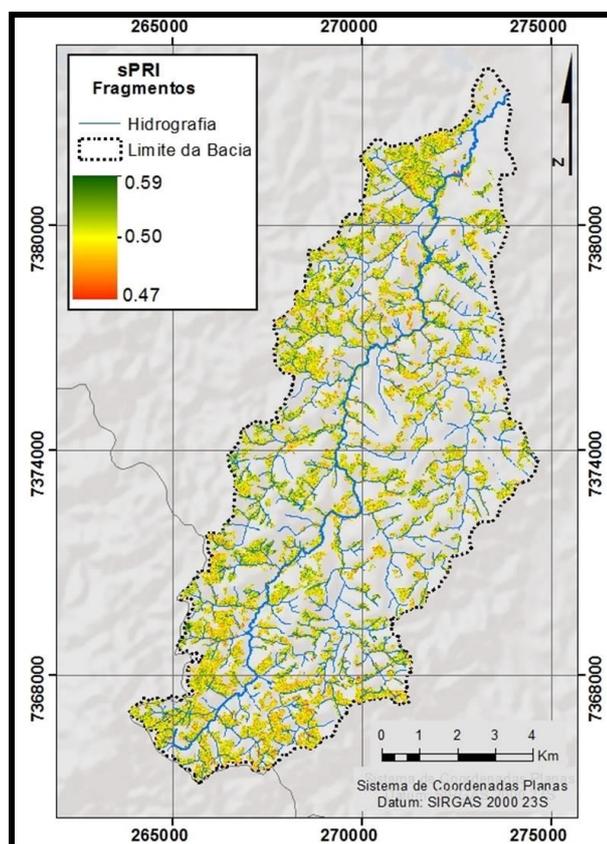
Os resultados deste estudo corroboram também com o estudo em floresta ombrófila densa realizado por Abdoral e Schuler (2007) que comprovaram uma correlação entre a precipitação mensal e os escores de NDVI, de forma que, quanto mais se aumenta a quantidade de água precipitada nestas áreas, maior será os escores de biomassa ativa na

fitoformação. Na bacia, valores iniciais de aumento da precipitação já são suficientes para que a vegetação atinja os escores de 0,80, considerado um valor excelente por Rouse et al. (1974).

Quanto mais distante do interior da bacia, maior a qualidade da biomassa vegetal, como pode ser observado no extremo oeste e extremo sul, nos divisores de água da bacia, onde predominam fragmentos com os maiores escores de biomassa vegetativa. Esse fato sugere que a altitude e a declividade são influentes para a conservação da vegetação e corroboram com a relação entre fragmentação e características físicas do terreno.

Quanto às características espectrais fotossintéticas, os fragmentos apresentaram uma capacidade moderada de produção durante o período avaliado. O índice variou no intervalo [0,47 - 0,60] e valor médio de 0,50 (Figura 6.7).

Figura 6. 7 - sPRI e histograma dos fragmentos florestais.



Fonte: Autoria Própria. Ano da imagem: 2013.

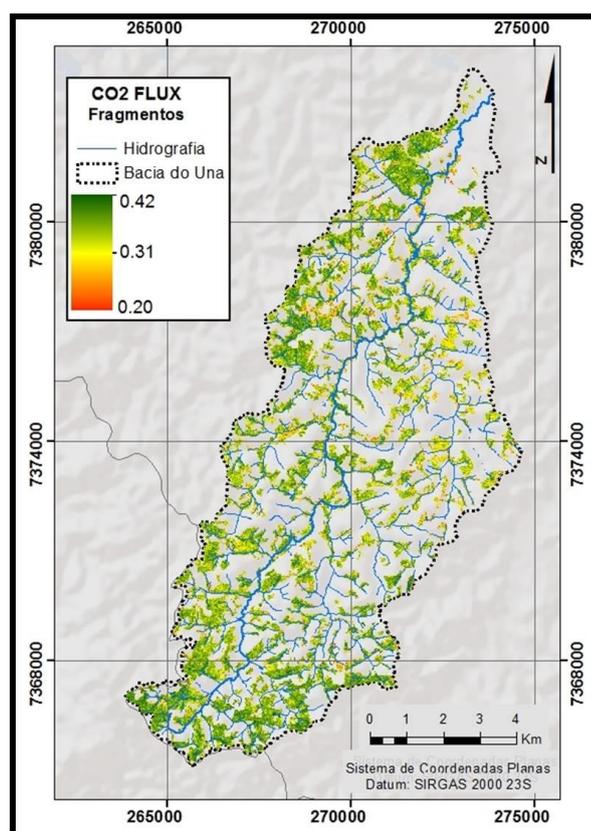
Os valores mais elevados de sPRI também foram verificados para os fragmentos nos limites da bacia, associados às margens de corpos hídricos e com os maiores escores de NDVI. A regularidade fotossintética observada pode ser justificada pelos valores de sPRI serem mais elevados quando associado a maior precipitação e havendo uma redução de água,

a utilização dos pigmentos de xantofila na eficiência fotossintética serão alteradas na vegetação (GAMON et al., 1992; RAHMAN et al., 2001; CANAVESI et al., 2010).

Apesar de constatar uma biomassa ativa nos fragmentos, o processo fotossintético encontram-se influenciados pela precipitação ainda reduzida por se tratar do início do período úmido, devendo apresentar escores mais elevados nos meses de dezembro e janeiro, os quais possuem médias de 188,50 mm e 241,90 mm, respectivamente.

Referente ao carbono atmosférico quanto melhor o uso da radiação e quanto maior for a fotossíntese, maior a possibilidade da planta captar o carbono atmosférico em seus processos fotossintéticos. O CO<sub>2</sub>flux pode ser observado na Figura 6.8 e revela um moderado fluxo de carbono absorvido pela vegetação florestal, com intervalos entre [0,20 – 0,42] e média de 0,31.

Figura 6. 8 - CO<sub>2</sub>FLUX e histograma dos fragmentos florestais.

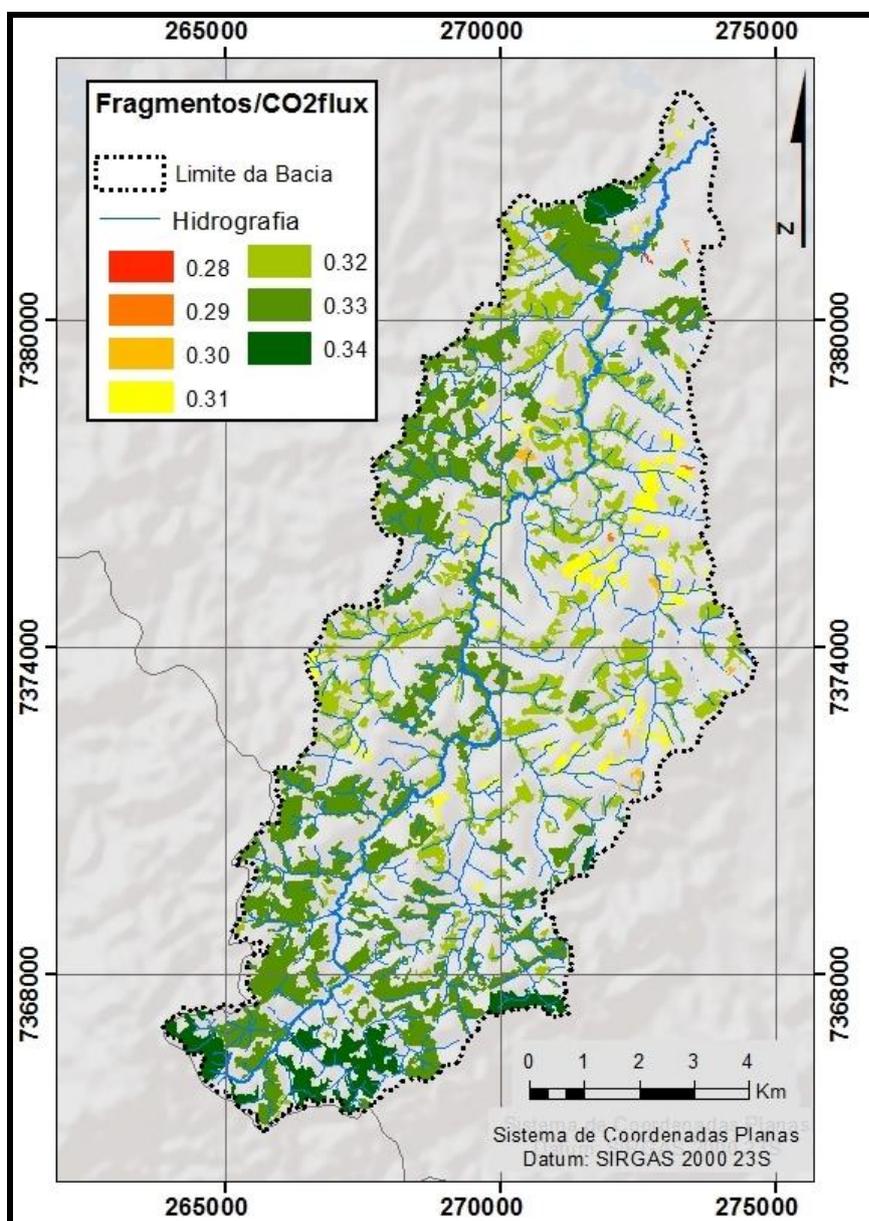


Fonte: Autoria Própria. Ano da imagem: 2013.

Os fragmentos com maior fluxo de carbono atmosférico estão situados ao oeste e sul da bacia, com hidrografia em seu interior, altitude aproximada de 900 m, em relevos ondulados a fortemente ondulados e com os maiores escores de NDVI e sPRI (Figura 6.9). Essa última característica é confirmada por Baptista (2003) ao afirmar que quanto maior for a

atividade fotossintética, maior a absorção nas faixas do azul e do vermelho. Logo, se há alta nos escores elevados de NDVI e sPRI, maiores serão os níveis de captação de carbono.

Figura 6. 9 - Fragmentos florestais e seu quantitativo no fluxo de carbono.



Fonte: Autoria Própria.

A associação entre NDVI e a proximidade de corpos hídricos também são validadas pelas colocações de Poelking, Lauermann e Dalmolin (2007), em que, a presença de corpos d'água próximo a vegetação permite a maior densidade florestal, maior quantidade de folhas, cloroplastos, absorção da radiação e fotossíntese. Já as áreas com vegetação rala ou distantes

de corpos hídricos é afetada pela deficiência estrutural das células foliáreas e ocasiona uma baixa reflectância na região do infravermelho próximo.

As razões para a baixa utilização do CO<sub>2</sub> nos fragmentos podem ser inúmeras. Para Gamon et al. (1997) uma das causas pode ser a hipótese de fotoproteção, quando a vegetação exposta a uma alta intensidade de radiação reduz o seu processo fotossintético durante períodos de estresse para se autoprotger. Dessa forma, como o estudo se baseia em um período úmido, mas ainda com baixa precipitação, estima-se que a intensidade da radiação em razão do verão pode contribuir para o baixo fluxo de carbono.

As avaliações realizadas permitem indicar medidas para minimizar a fragmentação florestal da Mata Atlântica na bacia do rio Una. Segundo Borges et al. (2004), as consequências da fragmentação florestal se dão pela ação abiótica com a alteração na umidade do ar, temperatura e radiação solar, erosão, assoreamento e redução dos cursos d'água e maior evapotranspiração. Quanto as consequências de origem biótica, cita-se a perda de biodiversidade microbiológica do solo, da flora e da fauna, a perda da diversidade genética, a redução da densidade, abundância e a alteração da estrutura da vegetação.

As medidas para a conservação dos fragmentos existentes são requeridas, buscando incitar as discussões para a revegetação das áreas expostas e degradadas, o aumento e a interligação dos fragmentos na bacia. Avaliando a estrutura dos fragmentos, a forma irregular e o efeito de borda incidente é evidente, sugerindo um maior controle das atividades que induzem a supressão vegetal e aceleram a fragmentação, uma vez que 60% da bacia é ocupada por atividades antrópicas.

Os fragmentos ao oeste e que apresentam baixa altitude (850 m) por representarem os menores tamanhos na bacia, há uma tendência futura de sua supressão e ausência da capacidade de proteger a diversidade biológica, ocorrência de endogamia, extinção de espécies e populações em número reduzido de indivíduos (PIROVANI et al., 2014).

Manter o desenvolvimento e a densidade dos fragmentos mostra-se essencial ao maior fluxo de carbono. Dessa forma, estimular a conservação dos fragmentos densos, em maiores altitudes e em áreas declivosas, aparenta uma ação eficaz para contribuir na redução do carbono atmosférico. Além disso, incentivar a formação de corredores ecológicos e a implantação de reflorestamento de espécies nativas, formando uma faixa protetora no entorno imediato dos fragmentos pode contribuir para o aumento da proteção, reduzindo a invasão de espécies exóticas, queimadas, aumento da luminosidade, temperatura e a redução da umidade (MUCHAILH et al., 2010).

Ademais, como a bacia abriga uma área considerável da zona urbana do município de Íbiúna, ações ambientais por parte do poder público devem ser realizadas para a conservação de fragmentos no entorno dos núcleos urbanos. Associado a isto, faz-se necessário uma atuação do comitê de bacias hidrográficas, no sentido de envolver a comunidade local em atividades de educação ambiental que estimulem a prática de ações conservacionistas em meio a alta produção agrícola.

---

---

## CAPÍTULO VII

### Abordagem metodológica para a avaliação socioambiental da bacia hidrográfica do rio Una

---

---

#### Resumo

O estudo objetivou caracterizar e analisar a relação entre aspectos sociais, econômicos e ambiental na bacia hidrográfica do rio Una, Ibiúna, São Paulo, subsidiando caminhos metodológicos para a análise socioambiental espacial de bacias hidrográficas. A análise foi realizada a partir da triagem de dados secundários sobre demografia, renda, educação e saneamento ambiental do censo demográfico do IBGE, analisados por meio da correlação de Pearson, da regressão linear múltipla e do indicador de qualidade socioambiental. Identificou-se que a taxa de domicílio, residentes e de qualidade no saneamento ambiental apresentaram-se maiores na zona urbana da bacia. Os percentuais de acesso a rede de água e esgoto na zona rural é precário, representando 19% e 0,6% dos domicílios, respectivamente. Houve forte correlação entre as características econômicas dos domicílios e de seus ocupantes com o saneamento ambiental. O índice de qualidade socioambiental revelou uma predominância de melhores condições socioambientais na zona urbana, contribuindo para a identificação de áreas locais com necessidade de intervenção, auxiliando o planejamento e tomada de decisões locais em bacias hidrográficas.

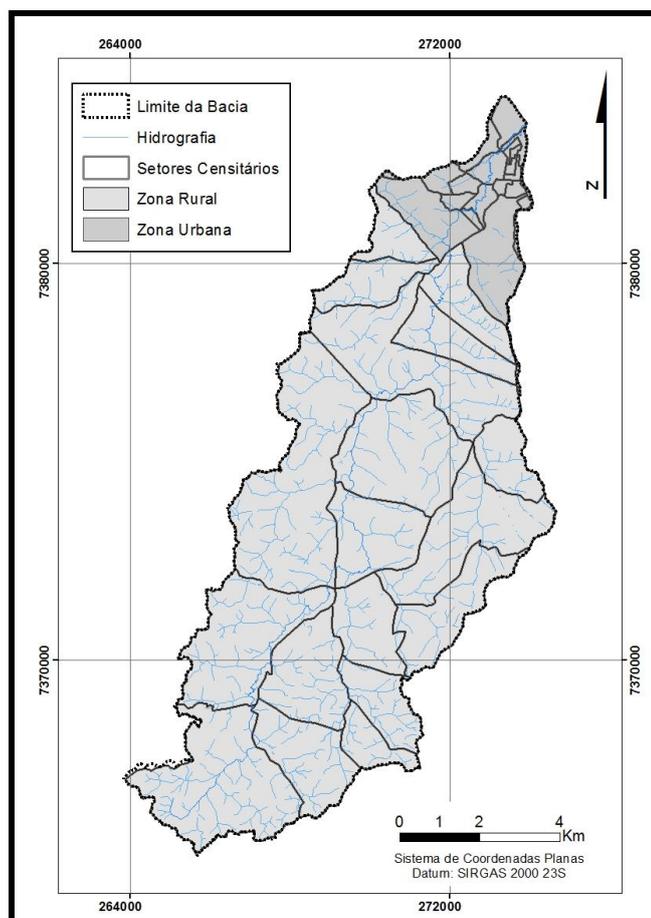
**Palavras-chave:** Qualidade socioambiental. Saneamento Ambiental. Censo Demográfico. Geoprocessamento.

#### 1. Métodos

##### 1.1 Coleta e triagem dos dados dos censos demográficos

Os dados foram triados da base de dados agregados do censo demográfico do ano de 2010 do IBGE (IBGE, 2010). Para a seleção das informações foi realizada a sobreposição do limite da bacia do rio Una sobre a grade dos setores censitários e selecionadas as informações para os 42 setores censitários que interceptam o seu perímetro. Estas informações encontram-se distribuídas entre a zona urbana e a zona rural (Figura 7.1).

Figura 7. 1 - Distribuição dos setores censitários na zona urbana e rural da bacia do Una.



Fonte: Autoria Própria.

Para este estudo, foram triadas as informações de taxa de residentes (TR), pessoas alfabetizadas (PA), domicílios próprios e quitados (DP), domicílios com rendimento entre 1 a 2 salários mínimos (DR), domicílios com rede de água (DRA), domicílios com rede de esgoto (DRE), destino do lixo (LIX). Os dados foram normalizados pelo método do máximo-mínimo equalizado, buscando padronizar as taxas apresentadas em valores lineares no intervalo 0 e 1.

## 1.2 Análise estatística

Testou-se a hipótese de que a densidade de domicílios e a taxa de residentes (variáveis dependentes) encontram-se influenciadas pelo nível educacional, pela quitação do domicílio, adequação do saneamento ambiental ou pela renda de seus ocupantes (variáveis independentes). Aplicou-se a matriz de correlação de Pearson a 5% e a matriz de regressão múltipla no *software* estatístico biostat (AYRES et al., 2007).

### 1.3 Construção do Indicador de Qualidade Socioambiental (IQSA)

O IQSA foi gerado conforme a combinação do Índice de Qualidade das Moradias (IQM) e do Índice de Inserção Social (IIS) da área de estudo, conforme adaptação da metodologia empregada por Vedovato, Lourenço e Donalisio (2011). Cada variável foi classificada com base na conversão do seu quantitativo de domicílios em porcentagem e da atribuição de pesos que variaram entre ótimo a ruim. As variáveis, a composição de cada índice e os pesos atribuídos podem ser observados na Tabela 7.1.

Tabela 7. 1 - Variáveis socioambientais analisadas e pesos atribuídos

Índice	Variáveis	Pesos atribuídos			
		Ótimo (> 75% a 100% dos domicílios)	Bom (> 50% a 75% dos domicílios)	Regular (> 25% a 50% dos domicílios)	Ruim (< 25% dos domicílios)
IQM	Domicílios com rede de água (DRA)	1,0	0,50	0,25	0
	Domicílios com rede de esgoto (DRE)	1,0	0,50	0,25	0
	Destino do lixo (LIX)	1,0	0,50	0,25	0
IIS	Domicílios próprios e quitados (DP)	1,0	0,75	0,50	0,25
	Domicílios com rendimento entre 1 a 2 salários mínimos (DR)	1,0	0,75	0,50	0,25
	Pessoas alfabetizadas (PA)	1,0	0,75	0,50	0,25

Uma vez obtido as notas para as variáveis, foram calculados por média ponderada os índices IQM e IIS, e, posteriormente, o IQSA, para cada setor censitário que compõe a área de estudo, conforme equações:

$$IQM_n = (0.2 * DRA_n) + (0.5 * DRE_n) + (0.3 * LIX_n)$$

$$IIS_n = (0.2 * DP_n) + (0.3 * DR_n) + (0.5 * PA_n)$$

$$IQSA_n = (0.4 * IQM_n) + (0.6 * IIS_n)$$

Onde:

$IQM_n$  - Índice de Qualidade de Moradias.

$IIS_n$  - Índice de Inserção social

$IQSA_n$  - Índice de Qualidade Socioambiental

$DRA_n$  - Percentual de domicílios com rede de água

$DRE_n$  - Percentual de domicílios com rede de esgoto

$LIX_n$  - Percentual de domicílios com coleta de lixo regular

$DP_n$  - Percentual de domicílios próprios e quitados

$DR_n$  - Percentual de domicílios com rendimento entre 1 a 2 salários mínimos

$PA_n$  - Percentual de pessoas alfabetizadas

Os valores do IQSA foram classificados considerando a Tabela 7.2.

Tabela 7. 2 - Classificação do IQSA

<b>IQSA</b>	<b>VALOR QUANTITATIVO</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO QUALITATIVA</b>
1,0 - 0,65	1	ÓTIMO
< 0,65 até 0,50	2	BOM
< 0,50 até 0,25	3	REGULAR
< 0,25	4	RUIM

#### 1.4 Espacialização dos índices

Os índices foram espacializados em forma de mapas temáticos em coordenadas UTM, datum SIRGAS 2000 23S, através da obtenção dos centróides de cada setor censitário e a vinculação das informações na tabela de atributos.

Aplicou-se a interpolação do inverso ponderado da distância (*Inverse Distance Weight*), utilizando o comando IDW no *software* ArcGIS 10.3. O IDW é uma técnica de interpolação exata, que considera a dependência espacial dos valores interpolados por meio da determinação de pesos aos pontos amostrados, de forma proporcional à contribuição de cada valor vizinho em função da distância. Nesta técnica, o atributo de um pixel interpolado deve ser o mais semelhante ao seu ponto mais próximo na superfície matricial, com base em valores medidos em torno do local de predição (VEDOVATO; LOURENÇO; DONALISIO, 2011; EASTMAN, 2012; ESRI, 2014).

## 2. Resultados e discussão

### 2.1 Caracterização socioambiental da bacia

A caracterização socioeconômica da bacia do rio Una pode ser observada na Tabela 7.3, onde são apresentadas as taxas referentes a demografia, educação e economia.

Tabela 7. 3 - Condições socioeconômicas

	<b>DOM</b>	<b>TR</b>	<b>PA</b>	<b>DR</b>	<b>DP</b>
<b>Zona urbana</b>	5.368	17.598	15.379	1.716	3.193
<b>Zona rural</b>	3.641	12.308	10.237	1.457	1.703
<b>Total</b>	9.009	29.906	25.616	3.173	4.896

Legenda: DOM – Domicílios; TR – Taxa de residentes; PA – Pessoas alfabetizadas; DR – Domicílios com rendimentos entre 1 a 2 salários mínimos; DP – Domicílios quitados e próprios. Fonte: IBGE (2010).  
Fonte: IBGE (2010).

A taxa de domicílios apresentou maior valor para a zona urbana, que inclui parte da área urbana do município de Ibiúna, representado aproximadamente 60% da totalidade dos domicílios na bacia. A taxa de residentes foi estimada em 29.906 habitantes, sendo o maior percentual também na zona urbana da bacia.

Observou-se que essas taxas estão conciliadas com os relevos mais planos, que na bacia atinge altitude mínima de 850 m, sobretudo ao norte. Essas características estão relacionadas a ocupação e estabelecimento das comunidades em áreas próximas aos corpos hídricos e às características físicas mais favoráveis.

O setor educacional apresentou um quantitativo de 25.616 habitantes alfabetizados, com 5 anos ou mais de idade. Esse valor corresponde a um percentual de 86% da população residente na área.

Identificou-se que ao menos 3.173 domicílios possuem renda entre um e dois salários mínimos, sendo que cerca de 65% do total de domicílios possuem outros valores ou ausência de rendimentos. Considerando que a área é predominantemente rural e voltada à produção agrícola, supõe-se que a taxa de domicílios com ausência de rendimentos seja reduzida. Ao ser investigada esta característica no censo demográfico, confirmou-se que a respectiva taxa alcança 5% dos domicílios (IBGE, 2010).

No que se refere à condição de ocupação dos domicílios, a maior taxa de domicílios próprios e quitados encontram-se localizados na zona urbana. Aproximadamente cinco mil domicílios encontram-se nesta situação, representando mais da metade dos presentes na bacia do rio Una (54%). No entanto, 46% dos domicílios existentes encontram-se alugados, cedidos, em aquisição ou em situação de invasão, podendo ser reflexo da quantidade de imóveis irregulares na zona rural.

O saneamento ambiental apresentou as melhores taxas na zona urbana, conforme apresentado na Tabela 7.4.

Tabela 7. 4 - Condições de saneamento ambiental

	<b>DRA</b>	<b>DRE</b>	<b>LIX</b>
<b>Urbano</b>	4.977	3.532	5.320
<b>Rural</b>	709	22	2.787
<b>Total</b>	5.686	3.554	8.107

Legenda: DRA – Domicílios com rede de água; DRE – Domicílios com rede de esgoto; LIX – Domicílios com lixo coletado.

Fonte: IBGE (2010).

A coleta de lixo atende a cerca de 93% de todos os domicílios urbanos, seguido da presença de rede de água e da rede de esgoto. Para as condições de coleta de lixo, é preciso salientar que esta é uma das mais preeminentes discussões ambientais do mundo contemporâneo, sendo preciso a sua universalização, já que o aumento da produção de lixo doméstico está associado exponencialmente ao aumento populacional (SILVA; BARBIERI; MONTE-MOR, 2012).

Os percentuais referentes a rede de água e de esgoto na zona rural é considerado precário, representando 19% e 0,6% de todos os domicílios, respectivamente. A bacia apresenta um problema de infraestrutura de saneamento grave, com trechos de esgotamento sanitário expostos e paralelos aos domicílios, além de dejetos depositados diretamente nos corpos hídricos.

Essas observações são destacadas para a região sul da bacia que concentra ocupações com estrutura sanitária mínima. Essa região, refere-se ao local onde o rio Una nasce e é drenado até a jusante, correspondendo ao fato de que toda a rede hidrográfica pode estar contaminada a uma distância relativamente pequena da nascente do rio Una e os efluentes carreados ao longo de todo o seu percurso.

Dessa forma, a população que realiza o uso indireto dessa água, antes do devido tratamento, vem manuseando uma água possivelmente contaminada por taxas de coliformes fecais acima do permitido, associadas à outros contaminantes químicos, provenientes do cultivo agrícola. Essa situação, permite afirmar que as baixas condições de saneamento induzem a proliferação de doenças, dentre elas, a dengue, considerada um problema de saúde pública em áreas com manejo inadequado do lixo e com irregularidade do abastecimento de água (FLAUZINO; SOUZA-SANTOS; OLIVEIRA, 2011).

A matriz de correlação apresentada na Tabela 7.5 evidenciou a forte associação entre as características econômicas dos domicílios e de seus ocupantes com o saneamento ambiental.

Tabela 7. 5 - Matriz de correlação linear das variáveis socioambientais

	<b>DOM</b>	<b>PR</b>	<b>DP</b>	<b>PA</b>	<b>DR</b>	<b>DRA</b>	<b>DBE</b>	<b>LIX</b>
<b>DOM</b>	1	---	---	---	---	---	---	---
<b>PR</b>	0,99	1	---	---	---	---	---	---
<b>DP</b>	0,78	0,74	1	---	---	---	---	---
<b>PA</b>	0,99	0,99	0,76	1	---	---	---	---
<b>DR</b>	0,91	0,93	0,70	0,92	1	---	---	---
<b>DRA</b>	0,65	0,62	0,56	0,66	0,39	1	---	---
<b>DBE</b>	0,39	0,33	0,29	0,39	0,12	0,75	1	---
<b>LIX</b>	0,94	0,93	0,79	0,95	0,79	0,82	0,52	1

Correlações fortes e positivas foram observadas entre a taxa de residentes com as pessoas alfabetizadas, com o lixo coletado e com o rendimento dos domicílios.

Confirmou-se também, a correlação positiva e forte entre os domicílios e o número de residentes, pessoas alfabetizadas, rendimento dos domicílios e a coleta de lixo. Segundo Silva, Barbieri e Monte-Mor (2012) o aumento do número de domicílios, leva a transformações fundamentais na estrutura do consumo, sendo que a quantidade do que é gerado de resíduos é diretamente proporcional a faixa etária, a correria urbana e as investidas do marketing para o consumo humano. Logo, a correlação entre domicílios, residentes e lixo fica como uma realidade socioambiental preocupante na bacia do rio Una.

Um segundo apontamento é a correlação entre o nível de instrução educacional e aspectos do saneamento, revelando a importância da educação como vetor da qualidade de vida da população, da erradicação de doenças transmitidas pelo lixo, da contaminação do solo e da água. Correlações similares a deste estudo também foram observados para a cidade de Cubatão, em São Paulo, identificando que a baixa estrutura de saneamento estão presentes em áreas com baixas condições socioeconômicas, associadas a pobreza e ao risco ambiental para os residentes locais (ALVES, 2013).

A análise de regressão tendo a taxa de domicílios como dependente, identificou que a mesma pode ser reflexo do número de residentes ( $p = 0.0209$ ) ou da aquisição de domicílios ( $p=0.0072$ ). Essa possibilidade é real, à medida que a população cresce, o número de domicílios aumentam. Contudo, essa associação não induz a implantação de um sistema de saneamento pelo proprietário, já que esta medida é dependente de uma tomada de decisão governamental. A ausência de significância das variáveis de saneamento ambiental para explicar a taxa de domicílios também ajuda na compreensão destes resultados.

Quando investigado a dependência da taxa de residentes em função das demais variáveis, observou-se que a taxa de domicílios na bacia ( $p = 0.0209$ ), a aquisição de domicílios ( $p = 0.0026$ ), pessoas alfabetizadas ( $p < 0.0001$ ) e a rede de esgoto ( $p= 0.0023$ ) apresentam significância para explicar o número populacional existente. Os resultados apontados pela regressão permitem confirmar a hipótese estabelecida no estudo.

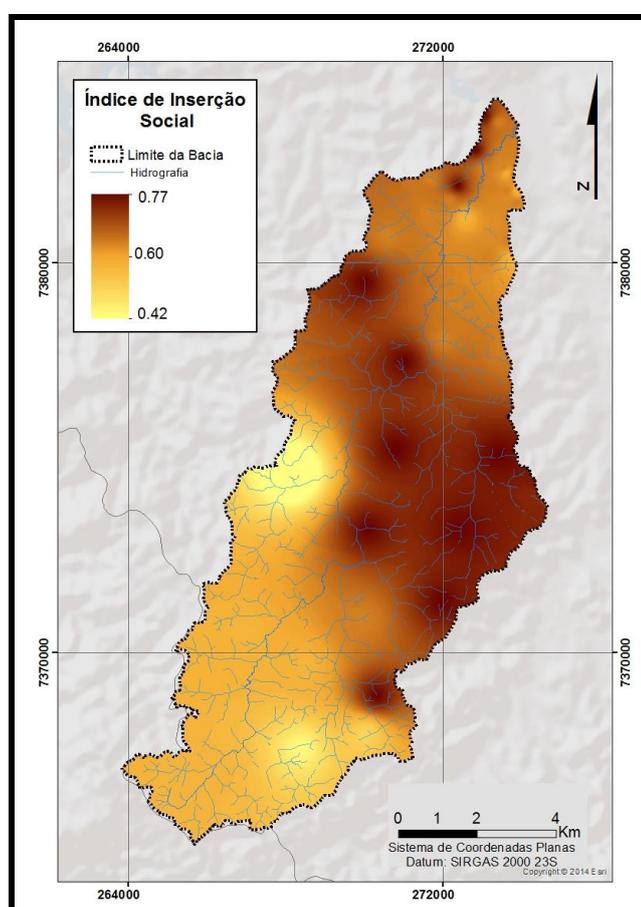
O estudo de variáveis socioambientais e a sua correlação enfatiza que o desenvolvimento antropogênico resultam em alterações severas e, muitas vezes, permanentes aos sistemas ambientais de bacias hidrográficas, convertendo-as em uma série de riscos para a própria sociedade (SANCHEZ et al., 2014). Neste estudo, a obtenção de domicílios próprios, a presença de rede de esgoto e a educação se mostram como as variáveis que mais se adequam

para explicar o crescimento demográfico na bacia e podem estar relacionadas com outros fatores socioeconômicos, abrindo espaço para um amplo campo de investigação.

## 2.2 Índice de Qualidade Socioambiental

Ao analisar o IIS na bacia, observou-se que os escores variaram entre [0,42 a 0,77], sendo as áreas ao centro, leste e oeste com a melhor representatividade das condições socioeconômicas (Figura 7.2).

Figura 7. 2 – Índice de Inserção Social.



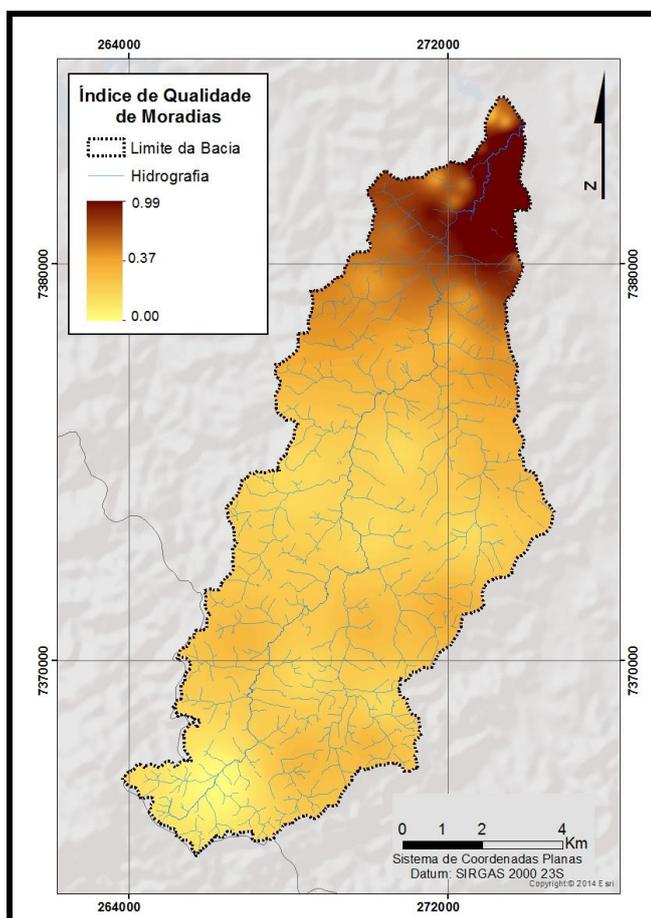
Fonte: Autoria Própria.

Áreas com valores abaixo de 0,60 encontram-se distribuídas ao longo do território, com maior ênfase ao sul. Já as áreas pontuais ao sul e oeste da bacia obtiveram as menores taxas do índice, representando as áreas com as baixas condições de domicílio, rendimento e educação.

Com relação a análise da distribuição espacial do índice IQM, é possível afirmar que apenas a área urbana apresenta a melhor qualificação, atingindo a totalidade de 0,99 (Figura

7.3). A queda da qualidade do IQM também é proporcional à distância da zona urbana, sendo as porções ao sul, na área rural, as que apresentaram as piores taxas.

Figura 7.3 - Índice de Qualidade de Moradias.

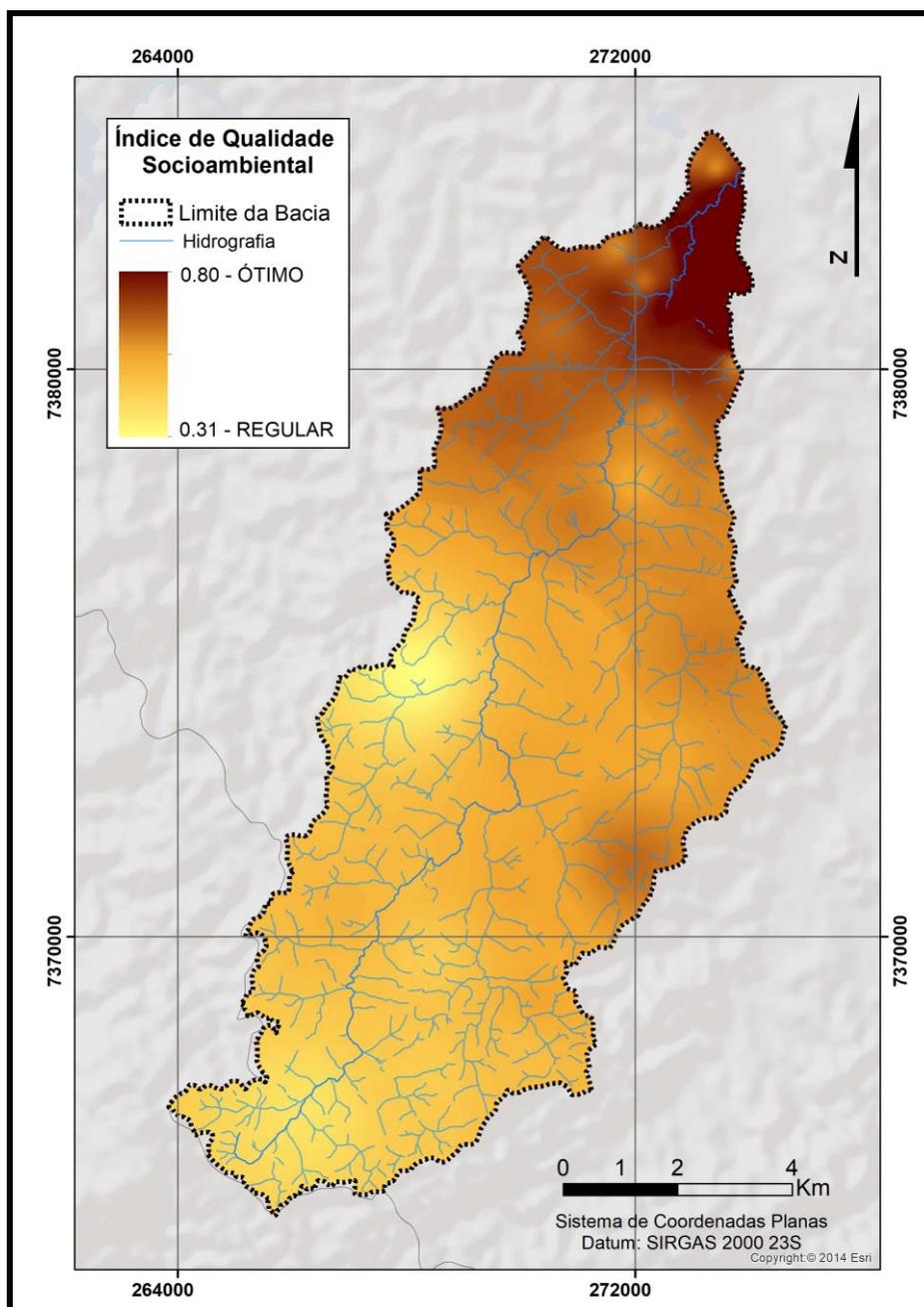


Fonte: Autoria Própria.

Esses resultados contribuem para confirmar as indicações realizadas na caracterização socioambiental da bacia (Tabela 7.4), quando observada a precariedade do saneamento ambiental na zona rural.

O IQSA apresentou uma variação espacial entre [0,31 a 0,80], correspondendo a uma qualidade socioambiental entre ótimo e regular para a bacia (Figura 7.4).

Figura 7. 4 - Índice de Qualidade Socioambiental



Fonte: Autoria Própria.

As áreas com classificação de IQSA ótimo (1,0 – 0,65) encontram-se exclusivamente ao norte da bacia, na zona urbana, enquanto o IQSA bom (< 0,65 – 0,50) encontra-se distribuído no território. As áreas qualificadas com IQSA regular (< 0,50 – 0,25) encontram-se ao oeste e sul, representando uma pequena porção da bacia, indicando os valores mais baixos tanto do IIS, quanto do IQM, que refletiram no produto final do IQSA.

Uma avaliação socioambiental na cidade de São Paulo revelou que a infraestrutura socioeconômica é determinante para definir as áreas mais frágeis de um território (GAMBA;

RIBEIRO, 2012). Essa mesma condição foi observada na bacia do rio Una, em que os setores censitários com melhores condições sociais, econômicas e de saneamento ambiental categorizaram as melhores áreas da bacia nos indicadores IIS, IQM e no IQSA.

Na cidade de Cubatão, em São Paulo, o índice de vulnerabilidade socioambiental indicou que as áreas com maior vulnerabilidade possuem condições socioeconômicas significativamente reduzidas. Na bacia do rio Una, essa condição é semelhante, já que as baixas condições socioeconômicas associam-se à baixa qualidade socioambiental (ALVES, 2013).

A espacialização da qualidade sociambiental contribui de forma eficiente para identificar os setores censitários em situação de baixa qualidade socioambiental, permitindo delimitar ações de intervenção nas áreas com os piores escores. Dessa forma, a utilização de técnicas de geoprocessamento, associada aos dados sociodemográficos de setores censitários disponibilizados pelo IBGE, podem ser utilizados como ferramenta de planejamento pela administração pública (VEDOVATO; LOURENÇO; DONALISIO, 2011).

Este estudo apresentou-se como uma contribuição quantitativa e qualitativa de análise da relação entre os aspectos econômicos e socioambiental para uma bacia hidrográfica. A abordagem utilizada demonstrou o potencial de trabalhar com dados secundários agregados de órgãos governamentais, transformando-os em uma forma simplificada de análise e interpretação, sendo um caminho alternativo aos modelos metodológicos complexos, mas que atingem resultados semelhantes (HONG et al., 2009).

---

---

## CAPITULO VIII

### Metodologia de integração de dados espaciais para o zoneamento ecológico-econômico em bacias hidrográficas

---

---

#### Resumo

O zoneamento ecológico-econômico é um instrumento de organização do território que auxilia o planejamento e a gestão ambiental no Brasil e requer em seu processo de elaboração a incrementação de parâmetros e metodologias de forma ágil e simplificada. O estudo objetivou desenvolver um modelo metodológico de integração de dados espaciais, através da elaboração de uma proposta de ZEE para a bacia hidrográfica do rio Una, capaz de ser replicada em áreas similares no país e subsidiar métodos alternativos para o instrumento no contexto da análise ambiental integrada. Utilizou-se parâmetros morfométricos, físicos, bióticos e socioeconômicos para caracterização e delineamento do cenário ambiental da bacia, seguido da delimitação das zonas de manejo através da metodologia denominada como analítica-agregativa. Em seguida, realizou-se a caracterização das zonas de manejo, descrevendo seus objetivos, conflitos socioambientais, usos permitidos, potencialidades, ações de manejo, legislação e documentos que embasam as informações contidas. Foram delimitadas oito zonas de manejo, sendo elas: Zona Residencial Consolidada, Zona Residencial Não-consolidada, Zona de Conservação, Zona de Recuperação, Zona de Monitoramento, Zona de Preservação Permanente, Zona Agrícola Primária e Zona Agrícola Secundária. O delineamento metodológico foi considerado satisfatório e eficiente para delimitação de zonas exequíveis no âmbito espacial e eficiente em campo para auxiliar o ordenamento da bacia do Una, sendo factível a sua replicação em outras áreas do país.

**Palavras-chave:** Zonas de manejo. Análise espacial. Uso da Terra. Sistema de Informações Geográficas.

#### 1. Métodos

A proposta de ZEE apresentada foi realizada conforme as Diretrizes Metodológicas para o ZEE de bacias hidrográficas apresentada no capítulo III.

Como a pesquisa buscou contribuir metodologicamente para a elaboração do zoneamento, foi proposta um delineamento metodológico alternativo simplificado, claro e conciso para a integração espacial dos parâmetros e a delimitação das zonas de manejo. Buscou-se a utilização de características detalhadas, associadas a dados socioambientais secundários e a inclusão de novos parâmetros e tecnologias que permitissem auxiliar tecnicamente a caracterização da bacia.

No caso dos dados secundários, foram trabalhados com dados do IBGE, referente ao censo demográfico e com um inventário de avifauna já realizado em áreas de fragmentos florestais na bacia do rio Una (IBGE, 2010; SALES, 2015). Os parâmetros e tecnologias

adicionais são representados pela utilização dos índices de vegetação, a partir do sensoriamento remoto orbital, o qual não foi identificado em estudos similares para a obtenção de ZEEs em bacias hidrográficas.

As variáveis investigadas na proposta de ZEE podem ser observadas no Quadro 8.1, divididas em quatro eixos principais: paisagem, morfométricos, físicos, bióticos e ssocioambientais.

Quadro 8. 1 - Parâmetros e variáveis analisadas na proposta de ZEE.

<b>Eixo</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Variáveis</b>
<b>Paisagem</b>	Uso da terra	Mapeamento do uso da terra e florestas
	Áreas de Preservação Permanente	Apps de rios
		Apps de nascentes
		Apps de topos de morros, montanhas e vales
		Apps de lagos, lagoas e reservatórios
		Apps de declividade
	Exposição Antrópica	Índice de transformação antrópica
Indicador de exposição antrópica de bacias hidrográficas		
<b>Morfométrico</b>	Características geométricas	Área total da bacia (A)
		Perímetro total da bacia (P)
		Comprimento da bacia (L)
		Largura da bacia
		Altitude média da bacia
		Declividade média
		Coefficiente de compacidade (Kc)
		Coefficiente de rugosidade
		Índice de circularidade (Ic)
		Fator de forma (Kf)
	Características da rede de drenagem	Ordem dos cursos
		Comprimento total dos cursos d'água
		Comprimento do curso d'água principal
		Densidade de drenagem
		Altitude inicial do curso principal
		Altitude final do curso principal
		Coefficiente de sinuosidade
	Tempo de concentração (Tc)	
	Características hidrologicas	Declividade
		Orientação do relevo
		Sombreamento
		Comprimento da vertente
	<b>Meio físico</b>	Solos
Tipos de solos		
Matéria Orgânica		
Clima		Precipitação anual

<b>Meio Biótico</b>	Flora	Qualidade da cobertura vegetal (NDVI)
		Forma, estrutura e distribuição de fragmentos naturais
		Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI)
		Fluxo de carbono (CO <sub>2</sub> Flux)
		Relação fragmentos e distância da hidrografia
		Relação fragmentos e hipsometria
		Relação fragmentos e declividade
	Avifauna	Composição e inventário da avifauna
		Espécies bioindicadoras
		Espécies raras, endêmicas e/ou em condição de extinção
<b>Socioambiental</b>	Influência Social/Humana/ Econômica	Demografia (população total, urbana e rural)
		Índice de Qualidade de Moradias
		Índice de Inserção Social
		Índice de Qualidade Socioambiental
		Domicílios com rede de água (DRA)
		Domicílios com rede de esgoto (DRE)
		Destino do lixo (LIX)
		Domicílios próprios e quitados (DP)
		Domicílios com rendimento entre 1 a 2 salários mínimos (DR)
		Pessoas alfabetizadas (PA)
		Índice de Qualidade das Moradias (IQM)
		Índice de Inserção Social (IIS)
		Índice de Qualidade Socioambiental (IQSA)

A partir da obtenção das informações de cada eixo, foi delimitado um cenário ambiental. O cenário ambiental consiste de uma etapa onde se busca descrever o maior número de características da bacia, sejam elas espaciais ou não, facilitando o processo de compartimentação do território em zonas de manejo.

O cenário ambiental pode ser entendido também, como uma etapa em que cada unidade da terra deve ser sobreposta às variáveis analisadas para a descrição detalhada das características, possibilitando a obtenção de dados consistentes para indicar a pertinência da atividade, sua regularidade e orientações futuras da atividade nas zonas de manejo.

Posteriormente, a metodologia de integração analítica-agregativa é executada, buscando realizar a organização das atividades em zonas de manejo, baseando-se no cenário ambiental já determinado. Assim, a metodologia pode ser definida como o processo de rearranjo espacial das atividades de uso da terra, a partir de informação técnicas dos atributos da paisagem, físicos, morfométricos, bióticos e socioambientais da bacia hidrográfica.

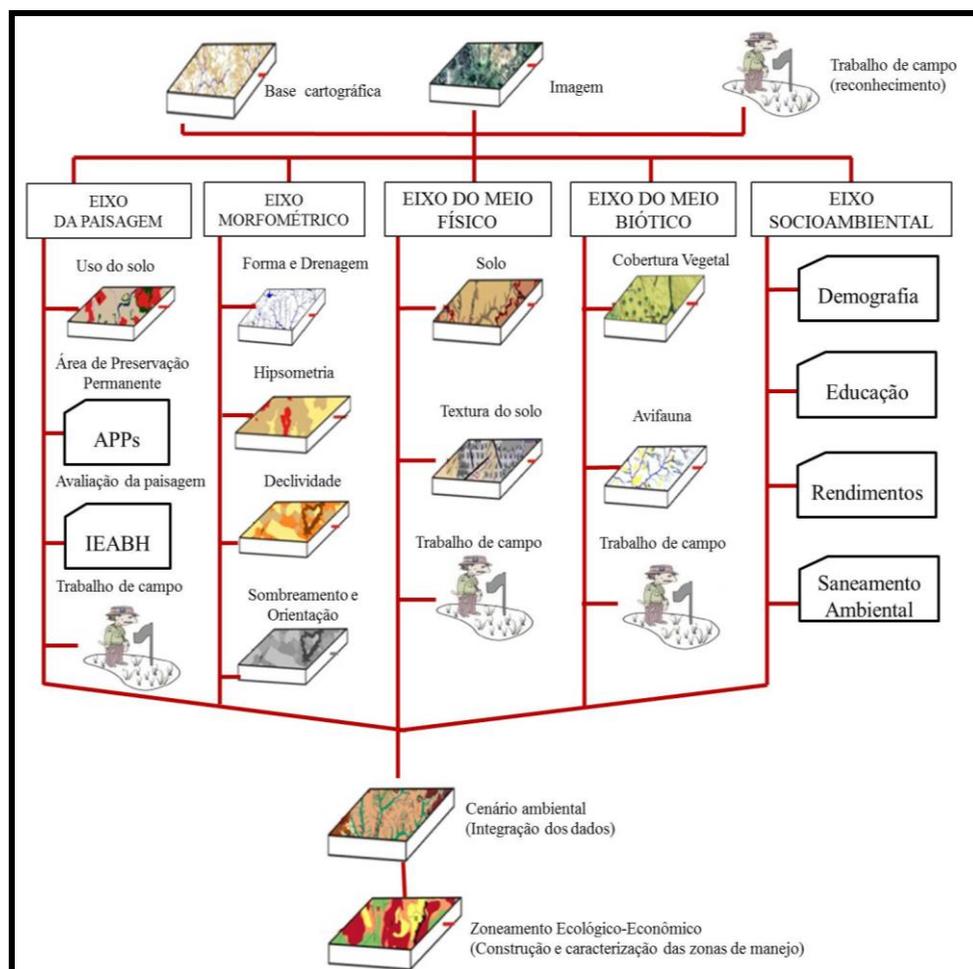
A metodologia faz uso de procedimentos de recorte, fusão, união e interseção, em âmbito espacial, disponíveis em diversos SIGs. A utilização dessas ferramentas dão suporte para a compilação das atividades do território dentro das zonas, encorajando a execução de

processos metodológicos simplificados, inclusive no momento de revisão e readequação da proposta de zoneamento.

Nesta proposta foram definidas oito zonas de manejo, baseando-se no cenário ambiental realizado, sendo elas: zona residencial consolidada e não-consolidada, zona de conservação, zona de monitoramento, zona de recuperação, zona de preservação permanente, zona agrícola primária e secundária. Utilizando-se do agrupamento das zonas, das características técnicas adquiridas no cenário ambiental, legislações, programas, projetos pertinentes e informações locais, foi realizada a caracterização de cada zona, delimitada pelo objetivo a que se destina, os usos, potencialidades, conflitos socioambientais e ações de manejos.

O ZEE apresenta escala de 1:25000, considerado como um documento em escala de detalhe para a gestão e planejamento ambiental (BRASIL, 2006; BARROS, 2015). A Figura 8.1 apresenta o esquema metodológico das etapas para a obtenção da proposta de ZEE.

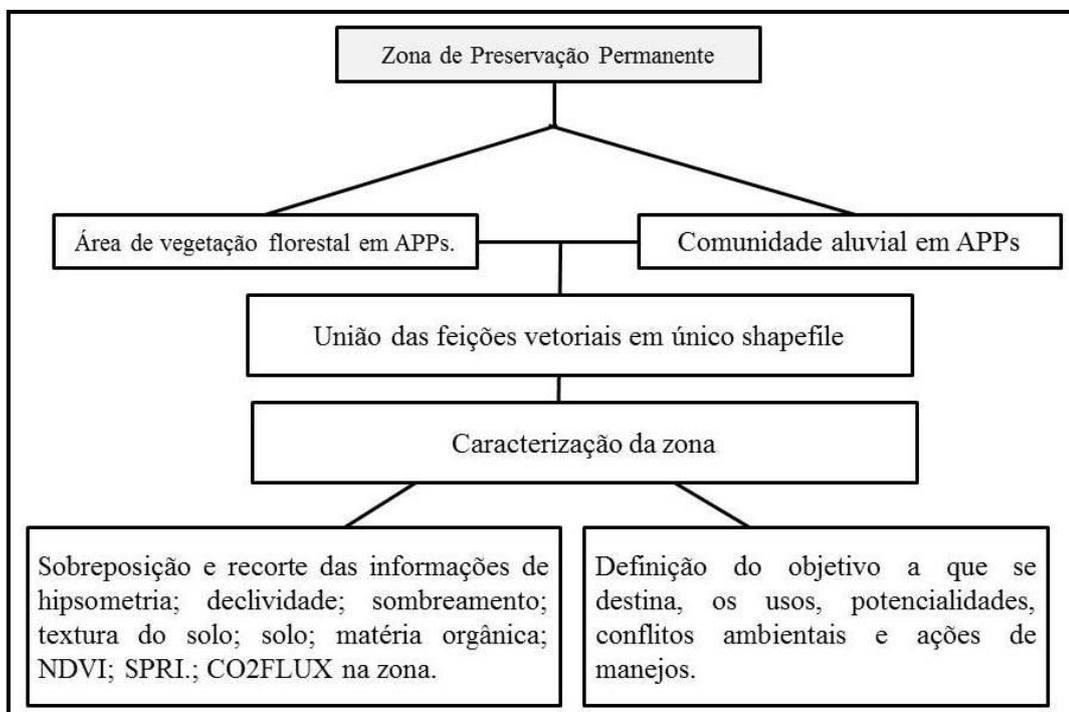
Figura 8. 1 - Esquema metodológico para obtenção do ZEE da bacia do rio Una.



Fonte: Adaptado de Nardin (2009).

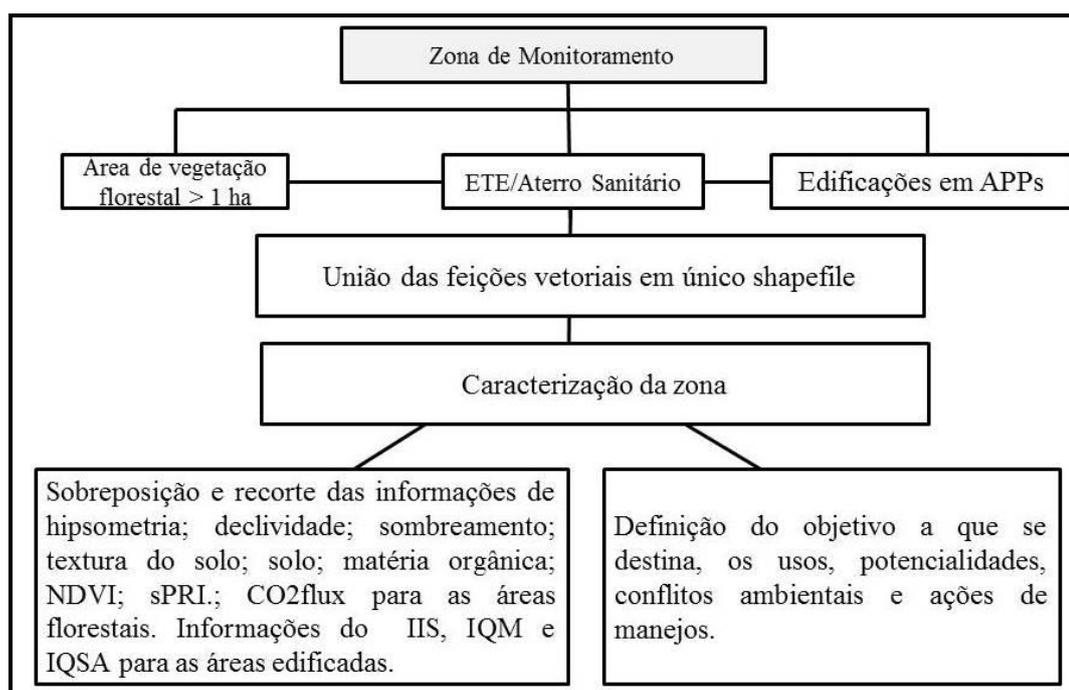
As Figuras 8.2 a 8.9 apresentam o esquema metodológico de delimitação de cada zona de manejo.

Figura 8. 2 - Esquema metodológico para obtenção da zona de preservação permanente.



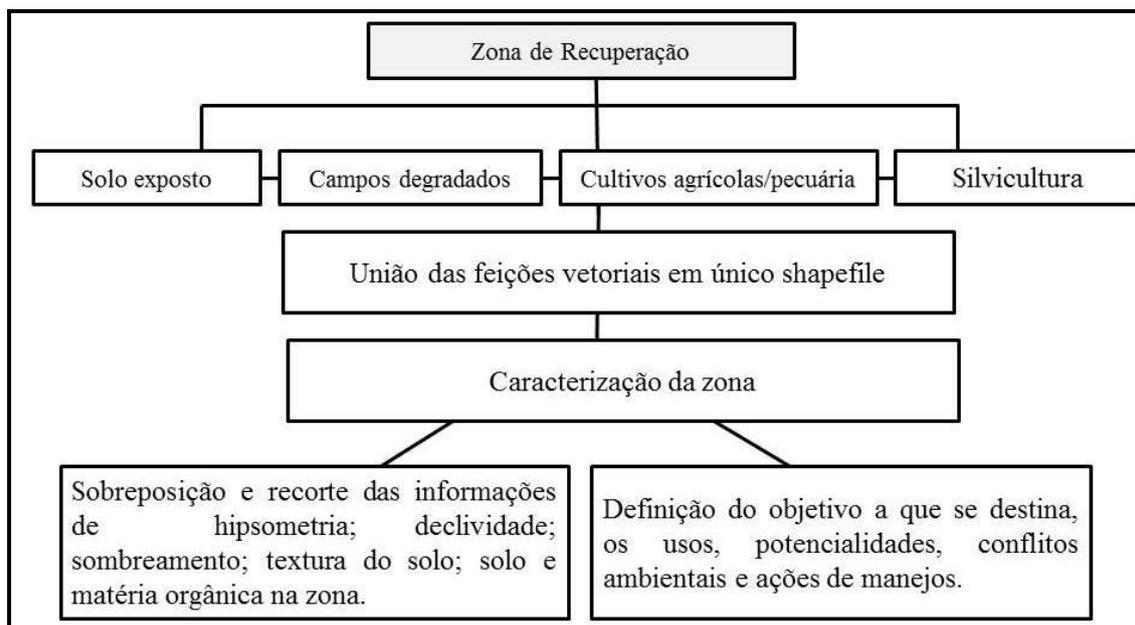
Fonte: Autoria Própria.

Figura 8. 3 - Esquema metodológico para obtenção da zona de monitoramento.



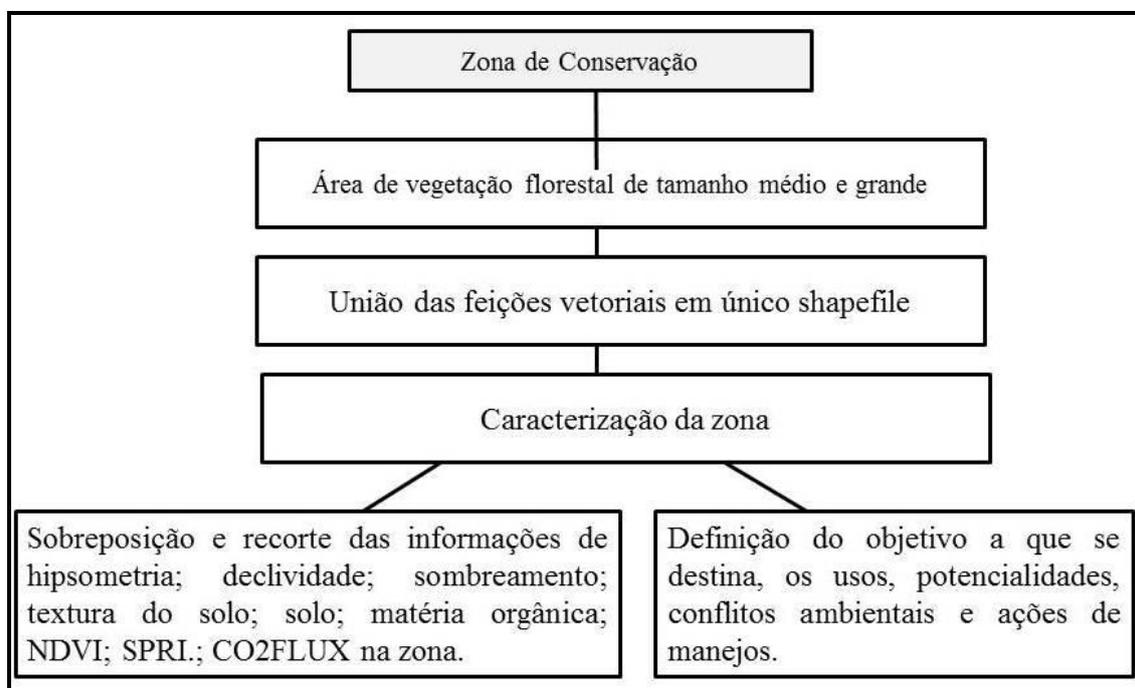
Fonte: Autoria Própria.

Figura 8. 4 - Esquema metodológico para obtenção da zona de recuperação.



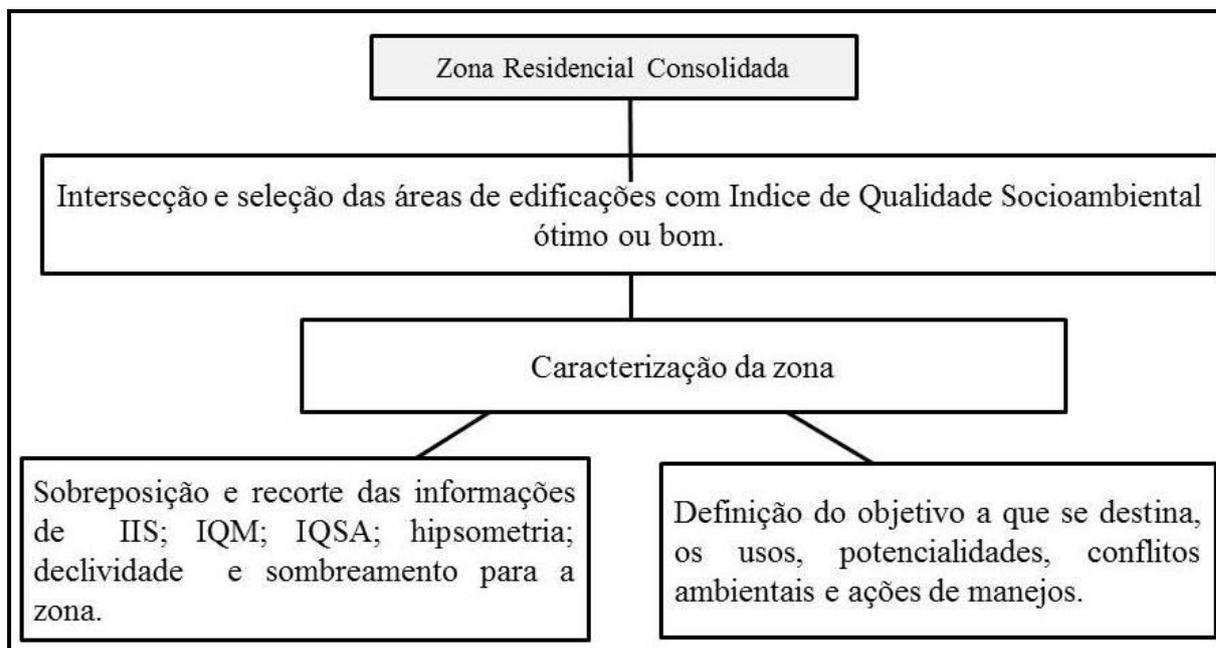
Fonte: Autoria Própria.

Figura 8. 5 - Esquema metodológico para obtenção zona de conservação.



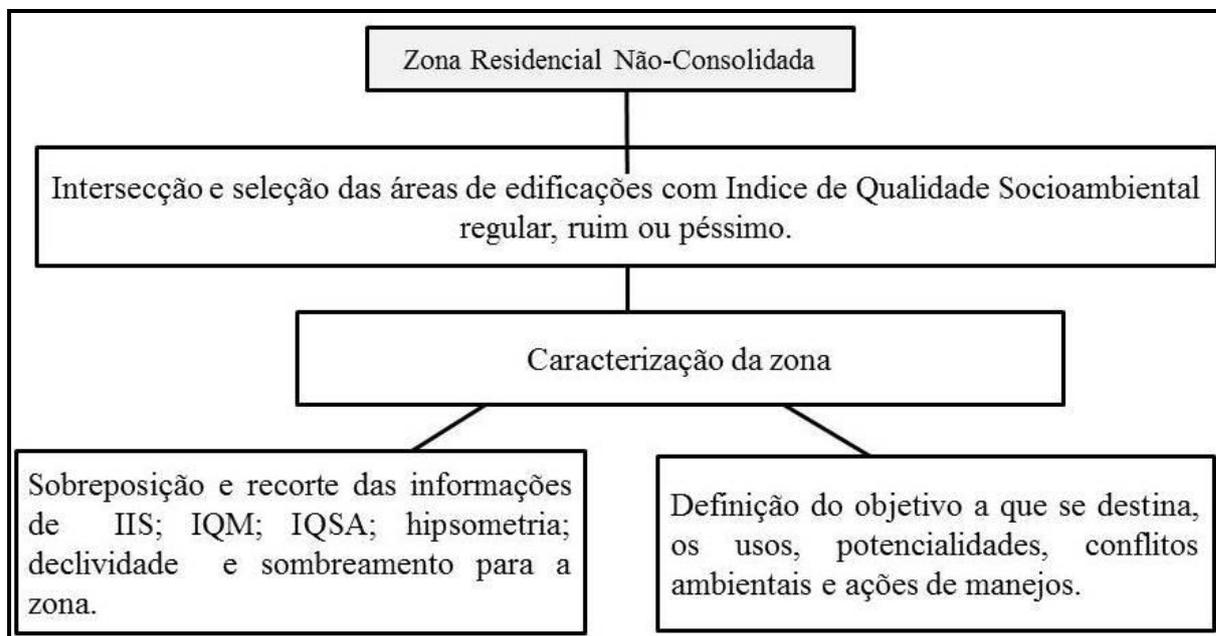
Fonte: Autoria Própria.

Figura 8. 6 - Esquema metodológico para obtenção da zona residencial consolidada.



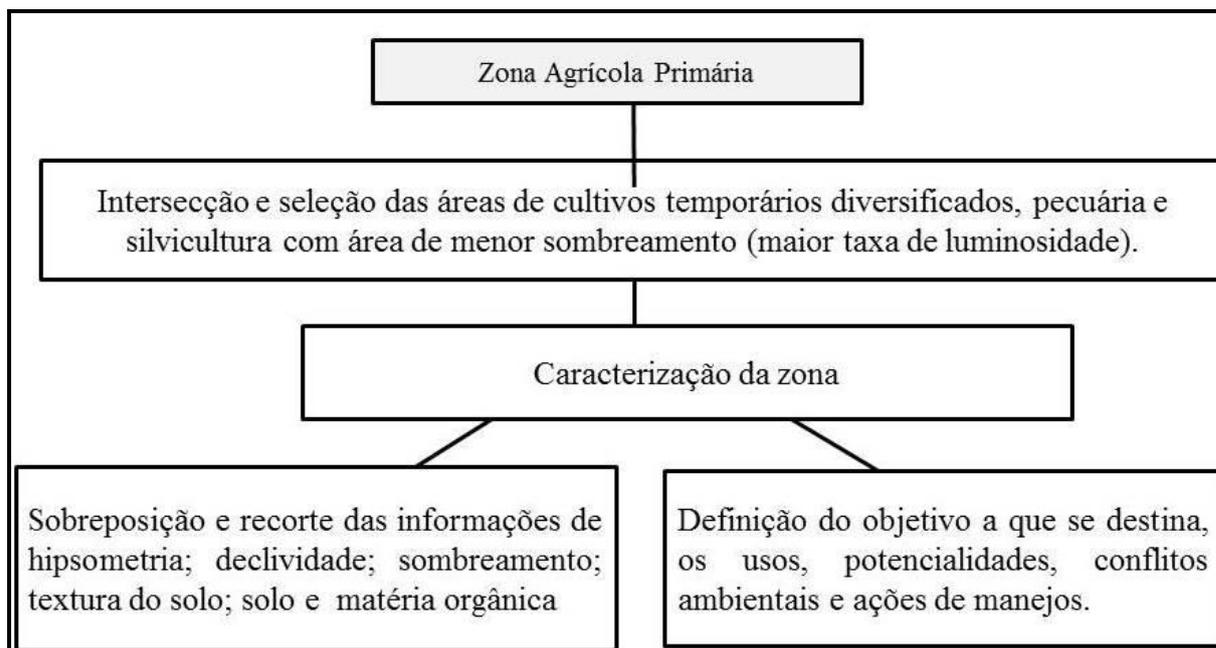
Fonte: Autoria Própria.

Figura 8. 7 - Esquema metodológico para obtenção da zona residencial não-consolidada.



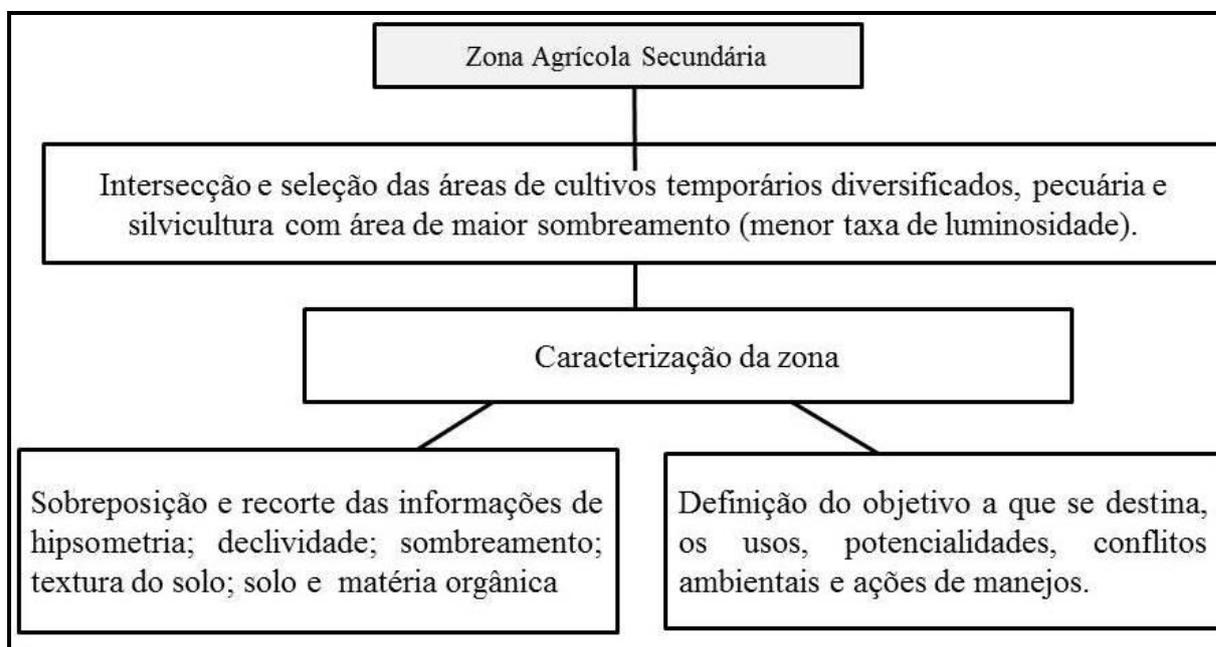
Fonte: Autoria Própria.

Figura 8. 8 - Esquema metodológico para obtenção da zona agrícola primária.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 8. 9 - Esquema metodológico para obtenção da zona agrícola secundária.



Fonte: Autoria Própria.

## **2. Resultados e discussão**

### **2.1 Cenário ambiental da bacia**

As atividades agrícolas respondem pela maior taxa de uso, sendo a principal atividade econômica da bacia, visando a comercialização de espécies vegetais que abastecem diversas regiões do Estado de São Paulo.

As áreas de vegetação natural representam 38,09% do território, sendo 37,05% da Floresta Ombrófila Densa Montana e 1,04% da comunidade aluvial. As edificações urbanas encontram-se agregadas no baixo curso da bacia e as edificações rurais são predominantes no médio e alto curso, devido a vocação rural da bacia hidrográfica. O território da bacia abriga duas importantes áreas relacionadas ao saneamento ambiental do município, o aterro municipal e a estação de tratamento de água.

A bacia apresentou 60% do território com influência antropogênica, sendo que dos 2.091 ha de APPs, pouco mais de 50% de suas áreas encontram-se em concordância com a legislação ambiental e as áreas irregulares caracterizam-se pela existência de cultivos temporários, edificações e campos degradados.

O indicador de degradação identificou uma classificação entre média a alta na bacia do Una. A abordagem detalhada do IDBH por sub-bacias, indicou a de número oito com um nível de degradação mais grave, entre alta e muito alta. Esse fato se dá pelo intenso uso agrícola em seu interior. Já a sub-bacia 11 encontra-se como a mais conservada, pois apresenta o maior quantitativo de vegetação natural.

Sobre a estrutura física, morfométrica e pedológica, a bacia possui uma área de 96 km<sup>2</sup>, perímetro de 75 km, comprimento de 19,74 km e largura de 4,88 km, com forma irregular e alongada, culminando para a baixa ocorrência de enchentes e bom escoamento para o curso d'água principal.

O curso d'água é considerado extenso, possuindo 25,50km de extensão e a drenagem total corresponde a 207,04km, com cinco ordens e densidade regular e dendrítica. A altitude variou entre 850 a 1175 m, com 54% da área representada por cotas altimétricas entre 900 a 1000 m. O relevo apresentou um declive com características onduladas em todo o território, sendo que áreas pontuais ao norte e ao sul apresentam 3,87% com declividade acima de 45%.

Os solos foram caracterizados por ser latossolos ou argissolos, sendo as áreas de florestas e cultivos temporários as que apresentaram solos com texturas entre argilosa a argilo-arenosa. A comunidade aluvial apresentou solo com características entre argilo e franco-argilosa enquanto os solos com silvicultura apresentaram solos com características

argilosas. A matéria orgânica destas áreas predominou entre 10% e 67%, com maiores percentuais em áreas de vegetação natural.

Em relação à vegetação natural, o tamanho da mancha dos fragmentos florestais foi estimado em 3.589 ha, tamanho médio de 17 hectares e total de 905 m de bordas com densidade média de 266 m/ha. Identificou-se um total de 197 fragmentos florestais, com maior quantitativo de fragmentos menores que 5 ha, representando 53% do seu total. Observou-se que o maior quantitativo de fragmentos encontram-se em altitude intermediária de 850 a 950 m. 141 fragmentos encontram-se com alguma drenagem contida em seu interior, reforçando a necessidade de conservação destas áreas para a manutenção da qualidade hídrica da bacia do rio Una.

Os índices de vegetação identificaram um NDVI com intervalo [0,50 – 0,80] considerando o vigor vegetativo dos fragmentos florestais como ótimo. O sPRI apresentou que os fragmentos apresentaram uma capacidade moderada de produção fotossintética, com intervalo [0,47 - 0,60]. Os valores mais altos de sPRI foram verificados para os fragmentos nos limites da bacia, associados as margens de corpos hídricos e com os maiores escores de NDVI.

O CO<sub>2</sub>flux revelou um moderado teor de carbono absorvido pela vegetação florestal, com intervalos entre [0,20 – 0,42]. Os fragmentos com maior captação de carbono atmosférico estão situados ao oeste e sul da bacia, com hidrografia em seu interior, altitude aproximada de 900 m, em relevos ondulados a fortemente ondulados e com os maiores escores de NDVI e sPRI. Os valores espectrais dos fragmentos também apresentaram associação com as variáveis físicas, sendo os maiores escores de NDVI, sPRI e CO<sub>2</sub>Flux concentrados em fragmentos com drenagem em seu interior, em maior altitude e declive.

O inventário da avifauna realizado por Sales (2015) identificou a presença de 147 espécies, agrupadas em 46 Famílias e 20 Ordens presentes nos fragmentos florestais. A Família Tyrannidae possui a maior representatividade (23 espécies).

Dentre as espécies da avifauna, cinco delas são consideradas bioindicadoras de qualidade ambiental, sendo elas: a *Theristicus caudatus* (Curicaca) observada nos fragmentos ao sul, a *Euphonia pectoralis* (Ferro-velho) na porção média, o *Tinamus solitarius* (Macuco) e a *Euphonia pectoralis* estão presentes apenas em fragmentos grande, pois desaparecem rapidamente em matas pequenas e isoladas. A *Procnias nudicollis* (Araponga) foi a única espécie encontrada em lista de vulnerabilidade e observada nos fragmentos localizados em maiores altitudes (SALES, 2015).

Quanto a caracterização socioambiental, a taxa de domicílios para a zona urbana representa cerca de 60% da totalidade dos domicílios e a população total da bacia corresponde a 29.906 habitantes. Observou-se que a maior taxa demográfica e de domicílios estão conciliadas com os relevos mais planos. O setor educacional apresentou um quantitativo de 25.616 habitantes alfabetizados, correspondendo a 86% da população na bacia.

Ao menos 3.173 domicílios possuem renda entre um e dois salários mínimos, sendo que cerca de 65% do total de domicílios possuem outros valores ou ausência de rendimentos. A maior taxa de domicílios próprios e quitados encontram-se localizados também na área urbana. Aproximadamente cinco mil domicílios encontram-se nesta situação, representando mais da metade dos domicílios (54%).

Quanto ao saneamento ambiental, foi observada que as melhores taxas estão concentradas na zona urbana. Dentre elas, a melhor taxa foi para a coleta de lixo, que atende a cerca de 93% de todos os domicílios urbanos, seguido da presença de rede de água e de rede de esgoto. Os percentuais referentes a rede de água e de esgoto na zona rural foi considerado baixo, representando 19% e 0,6% dos domicílios rurais, respectivamente.

O IIS na bacia apresentou escores que variaram entre [0,42 a 0,77], sendo as áreas ao centro, leste e oeste com a melhor representatividade das condições socioeconômicas. Áreas ao sul apresentaram valores de IIS abaixo de 0,60 e encontram-se distribuídos ao longo do território. O IQM apresentou melhor qualificação para a área urbana e a queda da qualidade é proporcional à sua distância.

Ao analisar o IQSA, observou-se uma variação espacial entre [0,31 e 0,80], correspondendo a uma qualidade socioambiental entre ótimo e regular para a bacia. As edificações que apresentaram classificação de IQS ótimo encontram-se exclusivamente ao norte da bacia, na zona urbana, enquanto o IQSA bom encontra-se distribuído em edificações ao longo do território. As áreas qualificadas com IQSA regular encontram-se situadas ao sul, na zona rural.

## **2.2 Zoneamento Ecológico-Econômico**

A proposta de ZEE para a bacia e suas sub-bacias é apresentado na Figura 8.10 e o quantitativo das zonas de manejo pode ser observado na Tabela 8.1 O ZEE conta com oito zonas de manejo, distribuídas homogeneamente no território, dando suporte ao ordenamento territorial e a gestão das atividades que ocupam a bacia.

Figura 8. 10 - Proposta de Zoneamento Ecológico-Econômico da bacia hidrográfica do rio Una.

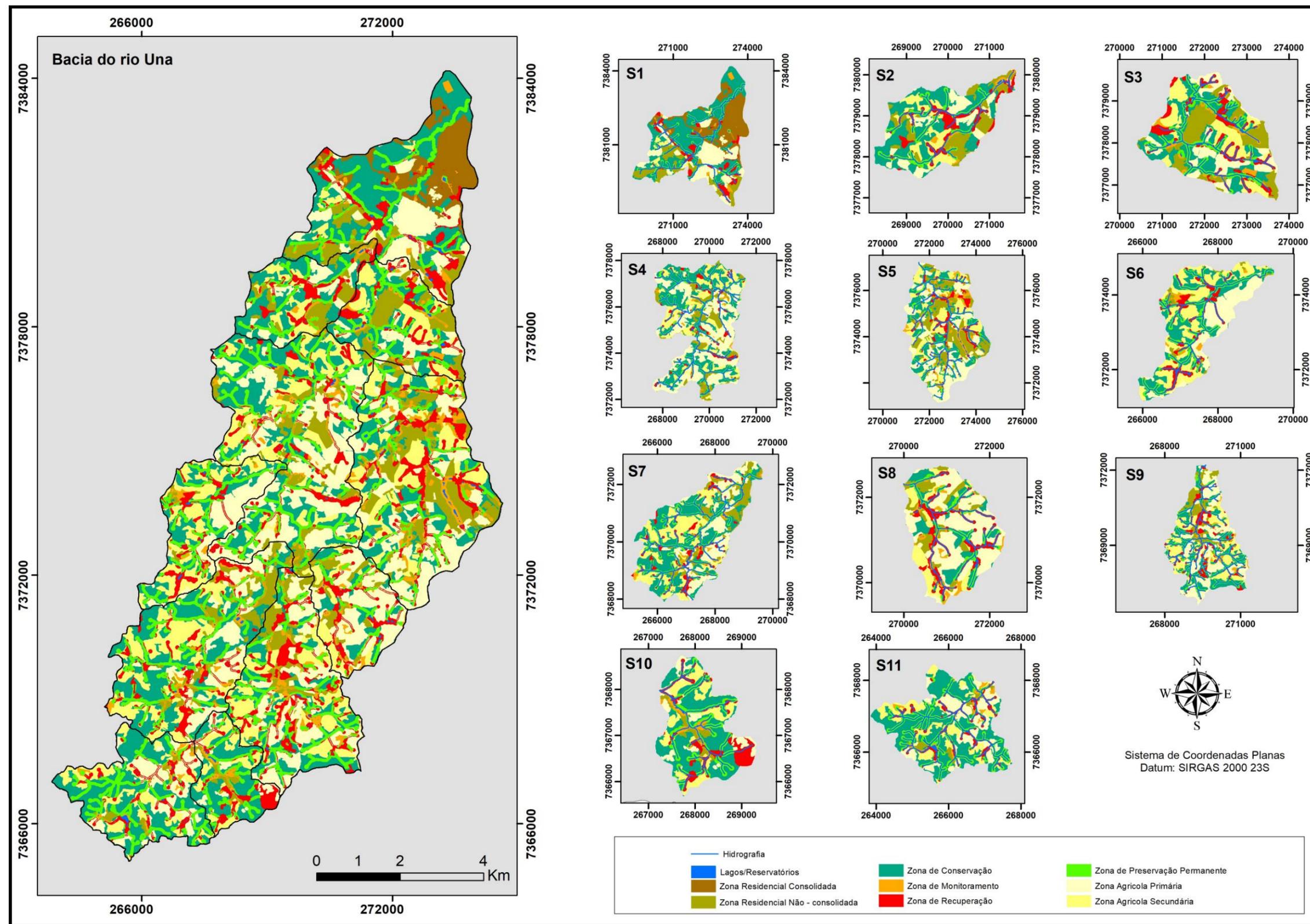


Tabela 8. 1 - Quantitativo das zonas de manejo da proposta de ZEE

<b>ZONAS</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
Hidrografia	42	0,43
Lagos/Reservatórios	81	0,84
Zona Residencial Consolidada	244	2,52
Zona Residencial Não-consolidada	919	9,50
Zona de Conservação	2.524	26,05
Zona de Recuperação	1.138	11,75
Zona de Monitoramento	427	4,40
Zona de Preservação Permanente	1.001	10,33
Zona Agrícola Primária	1.903	19,64
Zona Agrícola Secundária	1.409	14,54
<b>Total</b>	<b>9.688</b>	<b>100</b>

A zona de conservação apresenta o maior percentual de área (26,05%), mas se for considerada a junção das duas zonas agrícolas, o quantitativo total representará 34,18% do território e responderá pela maior área zoneada. As duas zonas com menores percentuais de área são representadas pela zona residencial consolidada e pela zona de monitoramento.

A zona de monitoramento evidencia o uso irregular das atividades na bacia, ocasionando a degradação socioambiental e inviabilizando o enquadramento destas áreas em zonas de preservação permanente e conservação, por exemplo. Neste caso, as áreas de APPs com edificações rurais, em que a sua recuperação total para um sistema natural é inviável, reforça o padrão de ocupação existente e sugere a discussão sobre a situação de preservação destas áreas em todo o país. A zona consolidada denota a existência de uma infraestrutura básica em zona habitadas ao longo da bacia.

A zona de recuperação apresenta 1.138 hectares de áreas com necessidade de intervenção, buscando a reestruturação das atividades e a minimização dos fatores antrópicos que incidem sobre a bacia. Com uma representatividade de 12% da área, pode-se considerar uma alta taxa de atividade de impacto ambiental ou com práticas irregulares no uso da terra e manejo da água. Essa taxa confirma o enquadramento da bacia entre média a alta exposição pelo IDBH desenvolvido e aplicado na bacia.

O quantitativo das zonas de manejo do ZEE da bacia também foi realizado para cada sub-bacia e ser observado na Tabela 8.2.

Tabela 8. 2 - Quantitativo das zonas de manejo nas sub-bacias

ZONAS	Sub-bacia 1		Sub-bacia 2		Sub-bacia 3		Sub-bacia 4		Sub-bacia 5		Sub-bacia 6	
	Área (ha)	%										
Hidrografia	4,64	0,40	1,87	0,38	2,76	0,46	6,80	0,42	5,06	0,35	2,61	0,45
Lagos/Reservatórios	8,13	0,62	3,24	0,67	9,65	1,60	9,28	0,60	17,02	1,20	4,66	0,81
Zona Residencial Consolidada	243,67	19,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zona Residencial Não-consolidada	106,81	8,36	68,03	14,10	105,20	17,50	128,20	8,00	243,27	17,10	10,81	1,90
Zona de Conservação	424,56	33,22	171,40	35,55	132,80	22,10	407,80	25,40	257,15	18,06	129,90	22,70
Zona de Recuperação	109,99	8,60	62,44	12,94	81,77	13,60	146,00	9,10	176,38	12,40	65,74	11,50
Zona de Monitoramento	40,48	3,12	17,34	3,60	27,94	4,65	54,81	3,41	111,42	7,82	14,26	2,50
Zona de Preservação Permanente	109,62	8,60	42,64	8,85	69,46	11,55	179,20	11,16	103,86	7,30	69,20	12,08
Zona Agrícola Primária	203,72	15,95	56,95	11,81	79,60	13,23	438,00	27,30	301,20	21,17	110,20	19,26
Zona Agrícola Secundária	26,01	2,03	58,27	12,10	92,10	15,31	234,40	14,61	208,06	14,60	164,80	28,80
Total	1.277,632	100	482,18	100	601,28	100	1.604,49	100	1.423,428	100	572,18	100

ZONAS	Sub-bacia 7		Sub-bacia 8		Sub-bacia 9		Sub-bacia 10		Sub-bacia 11	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Hidrografia	5,07	0,45	2,06	0,40	5,56	0,55	1,90	0,51	3,75	0,53
Lagos/Reservatórios	5,51	0,50	5,95	1,20	7,56	0,75	3,68	1,00	6,75	0,96
Zona Residencial Consolidada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zona Residencial Não-consolidada	96,49	8,55	46,05	9,12	84,42	8,33	13,76	3,70	15,14	2,15
Zona de Conservação	329,49	29,20	68,37	13,55	187,05	18,45	142,51	38,16	271,60	39,00
Zona de Recuperação	120,98	10,72	77,88	15,45	165,00	16,30	57,99	15,53	73,17	10,40
Zona de Monitoramento	47,32	4,20	29,04	5,75	48,50	4,80	16,33	4,37	18,99	2,70
Zona de Preservação Permanente	122,20	10,82	33,83	6,70	123,54	12,20	45,47	12,18	102,04	14,53
Zona Agrícola Primária	178,68	15,83	185,60	36,78	211,34	20,86	29,80	7,98	106,56	15,17
Zona Agrícola Secundária	222,61	19,73	55,78	11,05	179,93	17,76	61,89	16,57	104,38	14,80
Total	1.128,35	100	504,56	100	1.012,9	100	373,33	100	702,38	100

A sub-bacia 1 abriga, em sua totalidade, a zona residencial consolidada, fato que corrobora com o observado pela localização da área urbana do município de Ibiúna. Essa área é representada por uma infraestrutura urbana desenvolvida, apresentando um fluxo considerável de pessoas, a partir da instalação de comércio diversificado, loteamentos e compõe a rota de saída do município para cidades circunvizinhas.

A medida que se distância do norte da bacia, pode-se observar uma variação nos percentuais da zona de conservação de cada sub-bacia, com aumento das taxas de zonas agrícola tanto primária quanto secundária.

Essa variação é resultado de um predomínio do território para a produção agrícola. Essas observações são enfáticas quando observadas as sub-bacias 3 a 9, onde a soma das zonas agrícolas equivalem ou superam os percentuais da zona de conservação, evidenciando que a área do médio curso da bacia é amplamente utilizada para o fomento econômico. Para as sub-bacias 10 e 11 já se observa o oposto, em que, apresentando as áreas mais elevadas e declivosas, possuem maiores taxas de conservação.

Tratando-se da zona de preservação permanente, observou-se que esta não ultrapassa os 15% em todas as sub-bacias. Embora as sub-bacias 4,6, 7 e 9 apresentem altas taxas de atividade agrícola, mostraram-se também com maiores percentuais de APPs. Esse fato pode ser reflexo da conscientização dos proprietários das áreas produtivas para conservação do recurso hídrico ou pela implementação do Cadastro Ambiental Rural (CAR).

Como já constatado pelo IDBH, a sub-bacia 8 apresenta os percentuais mais preocupantes. As zonas que abrigam as atividades antrópicas representam as maiores taxas nesta sub-bacia enquanto as zonas de cunho restritivo e conservacionista são reduzidas. Esse fator confirma o estado de degradação aO qual a sub-bacia encontra-se submetida.

Para cada zona de manejo foi realizada a sua caracterização a partir dos parâmetros estudados e que subsidiam o manejo para a bacia do Una. Além disso, foram propostos os objetivos gerais, a identificação dos conflitos socioambientais através dos trabalhos de campo, os usos permitidos, as potencialidades que podem ser estimuladas durante a implementação do ZEE, as ações de manejo que devem ser seguidas e complementadas para a garantia da manutenção do ordenamento dentro de cada área, além das legislações e documentos que respaldam a caracterização e atividades de cada zona de manejo.

A caracterização de cada zona de manejo é apresentada na Tabela 8.3.

Tabela 8. 3 - Caracterização das zonas de manejo do ZEE da bacia hidrográfica do rio Una

<b>ZONA RESIDENCIAL CONSOLIDADA</b>	
<b>Características</b>	Zona com área edificada e malha viária consolidada, onde, atividades de comércio, rede hoteleira, e residências se intensificam na área da Bacia. A zona localiza-se em altitude entre 850 a 986m, bem iluminados, declividade entre 0 a 93% e relevo entre plano a ondulado. O índice de inserção social varia entre bom e ótimo, apresentando condições favoráveis de desenvolvimento educacional, renda e domicílios. O índice de qualidade de moradias é considerado entre regular e ótimo, com infraestrutura de saneamento básico satisfatória, resultando em um indicador de qualidade socioambiental variando entre bom e ótimo.
<b>Objetivos</b>	Utilização sustentável da área residencial, visando a consolidação das áreas urbanas, comerciais e turísticas e preservação dos valores socioculturais da população.
<b>Conflitos Socioambientais</b>	Degradação dos recursos hídricos em área residencial; Deposição de lixo em vias residenciais; Poluição sonora;
<b>Usos Permitidos</b>	Construção civil, desde que ao enquadra-se como potencialmente degradadora realizar estudos de impacto ambiental; Desenvolvimento e melhoria da malha viária principal com acesso as áreas residenciais. Comércio e serviços diversificados, consoante com a conservação dos recursos naturais.
<b>Potencialidades</b>	Consolidação da área urbana e turística com bens e serviços de qualidade; Desenvolvimento de sistema de gestão turística e urbanística em parceria com a prefeitura, empresários e sociedade civil, visando à melhoria das condições de lazer da população e dos turistas; Criação de cooperativas entre a população local, incentivando a geração de emprego e renda com serviços diversificados. Desenvolvimento de um programa de qualidade de áreas verdes em áreas residenciais. Desenvolvimento ou melhoria do programa de coleta seletiva municipal. Programas de incentivo, desenvolvimento e melhoria da qualidade educacional e cultural da população.
<b>Ações de Manejo</b>	Monitoramento da área residencial, visando minimizar a supressão de vegetação nestas áreas; Monitoramento, avaliação e expansão do sistema de saneamento básico, com tratamento adequado quando necessário; Desenvolvimento de ações socioculturais e atividades ambientais nas áreas residenciais.
<b>Legislação e Documentos</b>	Constituição da República Federativa do Brasil Lei nº 6.938/1981 - Política Nacional de Meio Ambiente Lei nº 7.663/1991 - Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo Lei nº 9.433/1997 - Política Nacional de Recursos Hídricos Dec 4.297/2002 – Critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil Lei Estadual nº 12.300/2006 - Política Estadual de Resíduos Sólidos Plano Diretor Urbano de Ibiúna

<b>ZONA RESIDENCIAL NÃO-CONSOLIDADA</b>	
<b>Características</b>	Zona com área edificada e malha viária secundária, sem pavimentação e baixa taxa de saneamento básico, educação e infraestrutura domiciliar. Conta ainda, com galpões de beneficiamento, transporte e cultivo de produtos agrícolas. Localiza-se em altitude entre 850 a 1068m, com relevo iluminado, declividade entre 0 a 79% e relevo entre plano a suavemente ondulado. O índice de inserção social das edificações varia entre regular a bom, com baixas taxas de educação, renda nos domicílios. O índice de qualidade de moradias enquadra-se entre ruim e bom, apresentando taxas de saneamento básico considerados precários, resultando em um indicador de qualidade socioambiental entre ruim e bom.
<b>Objetivos</b>	Regularização residencial, visando a consolidação das áreas urbanas ou rurais, comerciais e turísticas e preservação dos valores socioculturais da população.
<b>Conflitos Socioambientais</b>	Degradação dos recursos hídricos próximo as áreas residenciais; Deposição de efluentes domésticos e lixo em áreas de recursos hídricos e em vias pavimentadas; Realização de queimadas Supressão de áreas de vegetação no entorno das edificações.
<b>Usos Permitidos</b>	Desenvolvimento da malha viária com acesso aos bairros mais distantes; Implantação de sistemas de tratamento de abastecimento de água e esgoto para atender a demanda da população local Construção civil desde que atendam os requisitos municipais de regularidade das propriedades; Comercio e serviços diversificados, consonante com a conservação dos recursos naturais e com a regularidade das atividades
<b>Potencialidades</b>	Consolidação da área residencial e das atividades comerciais; Desenvolvimento de sistema de gestão urbanística visando caracterizar, identificar e consolidar as áreas residenciais; Criação de cooperativas entre a população local, incentivando a geração de emprego e renda com serviços diversificados; Desenvolvimento de um programa de qualidade de áreas verdes para as áreas residenciais; Desenvolvimento ou melhoria do programa de coleta seletiva municipal; Incorporação posterior das áreas com características de residência consolidadas à zona residencial consolidada. Programas de incentivo, desenvolvimento e melhoria da qualidade educacional e cultural da população;
<b>Ações de Manejo</b>	Monitoramento de despejos de efluentes domésticos, com notificação da irregularidade ao órgão competente; Monitoramento da deposição de lixo doméstico, industrial e hospitalar ao longo de vias residenciais, com notificação da irregularidade ao órgão competente; Desenvolvimento de ações socioculturais e atividades ambientais nas áreas residenciais não consolidadas, visando a conscientização da população referente a ocupação de áreas de risco, poluição e saneamento básico.
<b>Legislação e Documentos</b>	Constituição da República Federativa do Brasil Lei nº 6.938/1981 - Política Nacional de Meio Ambiente Lei nº 7.663/1991 - Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo Lei nº 9.433/1997 - Política Nacional de Recursos Hídricos Dec 4.297/2002 – Critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil Lei Estadual nº 12.300/2006 - Política Estadual de Resíduos Sólidos Plano Diretor Urbano de Ibiúna

**ZONA DE CONSERVAÇÃO**

<b>Características</b>	<p>Zona composta por áreas de vegetação natural pela comunidade aluvial, localizada exclusivamente ao norte e próxima ao exutório e fragmentos de floresta ombrófila densa montana. A zona encontra-se dispersa em toda a bacia, com malha viária desenvolvida ao longo de toda a área da zona.</p> <p>A comunidade aluvial encontram-se em relevo plano, altitude de 850m e bem iluminada, em áreas de latossolo e textura argilosa.</p> <p>As áreas de fragmentos encontram-se em relevos planos a fortemente ondulados, altitude entre 850 a 1050m, em áreas bem iluminadas e com 75% da sua totalidade com hidrografia em seu interior. Cerca de 78% dos fragmentos situam-se em latossolos, tendo a predominância de texturas argilosa, fanco-argilo-arenosa e argilo-arenosa, requerendo maior esforço de conservação em relação a sua capacidade intermediária de retenção de água. Os percentuais de matéria orgânica pode atingir 70% e favorece o desenvolvimento microclimático em seu interior, através de uma qualidade biótica propiciadas pelas condições físicas e bióticas. A biomassa vegetativa é considerada densa (NDVI 0.50 a 0.79), a reflectância fotoquímica moderada (sPRI 0.32 a 0.57) e o fluxo de carbono regular (CO<sub>2</sub>flux 0,20 a 0,41). O inventário de avifauna nestas áreas identificou 147 espécies (46 Famílias e 20 Ordens), com uma abundância de 9.025 indivíduos visualizados.</p>
<b>Objetivos</b>	Conservação da área de vegetação natural, fazendo uso sustentável destas áreas quando permitida a sua utilização.
<b>Conflitos Ambientais</b>	<p>Introdução de espécies exóticas;</p> <p>Influência antropogênica devido a proximidade de áreas residenciais e cultivos agrícolas;</p> <p>Efeito de borda sobre os fragmentos florestais.</p>
<b>Usos Permitidos</b>	<p>Desenvolvimento de pesquisas científicas no âmbito da conservação da fauna e flora;</p> <p>Desenvolvimento de atividades de educação ambiental;</p> <p>As áreas de fragmentos florestais com maiores tamanhos podem ser utilizados para a prática de turismo ecológico;</p>
<b>Potencialidades</b>	<p>Desenvolvimento de um sistema de gestão de áreas verdes com criação de reservas, RPPNs e Parques;</p> <p>Desenvolvimento do turismo ecológico.</p>
<b>Ações de Manejo</b>	<p>Fiscalização e monitoramento da utilização das atividades do entorno de áreas naturais, buscando minimizar o efeito de borda incidente;</p> <p>Fiscalização e monitoramento do desmatamento e extrativismo irregular da flora local;</p> <p>Fiscalização e monitoramento de atividades de caça e comércio de espécies da fauna.</p> <p>Orientação para a importância da cobertura vegetal na conservação do solo, de sua estrutura e composição.</p>
<b>Legislação e Documentos</b>	<p>Constituição da República Federativa do Brasil</p> <p>Lei nº 6.938/1981 - Política Nacional de Meio Ambiente</p> <p>Lei nº 7.663/1991 - Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo</p> <p>Lei nº 9.433/1997 - Política Nacional de Recursos Hídricos</p> <p>Lei Estadual nº 9.509/1997 - Política Estadual do Meio Ambiente de São Paulo</p> <p>Dec 4.297/2002 – Critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil</p> <p>Lei nº 11.428/2006 – Lei da Mata Atlântica</p> <p>Plano Diretor Urbano de Ibiúna</p> <p>SALES, JCA. Metodologia para identificação de áreas de risco e prioritárias para conservação da avifauna na bacia Hidrográfica do rio Una, Ibiúna/SP</p>

<b>ZONA DE RECUPERAÇÃO</b>	
<b>Características</b>	<p>Zona composta por solo exposto, áreas degradadas o sul e áreas de APPs em estado degradativo ocupadas por cultivos agrícolas, pecuária e silvicultura. A zona apresenta malha viária ao longo de seu território, permitindo bom acesso em suas áreas.</p> <p>As áreas degradadas encontram-se localizadas em declividade entre 0 a 354%, relevo plano a escarpado, altitude entre 850 a 1090m, com áreas sombreadas ou bem iluminadas. Predominantemente em latossolos, a textura ao centro é do tipo argilosa com maior retenção de água e ao sul pode variar de franco-argilo-arenosa a argilo-arenosa favorecendo processos de erosão e lixiviação.</p> <p>As áreas de cultivos encontram-se em declividade entre 0 a 212%, relevo plano a escarpado, altitude entre 850 a 1093m e áreas sombreadas ou bem iluminadas. Os percentuais de silte variam de 2 a 27%, areia total de 11 a 69%, argila de 10 a 60% e matéria orgânica até 68%, situando-se em latossolos e argissolos.</p>
<b>Objetivos</b>	<p>Recuperar as áreas degradadas da bacia com o reflorestamento de espécies nativas, evitando a erosão e lixiviação do solo;</p> <p>Correção das características físicas e químicas do solo, especialmente em áreas agrícolas abandonadas;</p> <p>Manter cobertura vegetal em áreas com solo exposto e recuperar as áreas de APPs identificadas como irregulares;</p>
<b>Conflitos Socioambientais</b>	<p>Solo exposto em áreas próximas a núcleos residenciais;</p> <p>Campos degradados em estado de pousio ou abandono pelos proprietários, sem manejo adequado do solo;</p> <p>Erosão e lixiviação do solo;</p> <p>Supressão de vegetação natural;</p> <p>Áreas de preservação permanente com atividades irregulares.</p>
<b>Usos Permitidos</b>	<p>Estudos ambientais para a recuperação das áreas de preservação permanente.</p> <p>Áreas não pertencentes a APPs podem ser utilizadas para a construção de acessos para áreas residenciais e comerciais.</p> <p>As áreas degradadas podem ser utilizadas para a compensação ambiental por empresas que atuem irregularmente sobre a bacia ou por novos empreendimentos, na forma de termo de ajustamento;</p>
<b>Potencialidades</b>	<p>Reincorporação das áreas recuperadas na zona de APPs, conforme código florestal e aumento dos percentuais quantitativo e qualitativo destas áreas;</p> <p>As demais áreas quando recuperadas, podem ser incorporadas na zona de conservação;</p> <p>Não havendo possibilidade de recuperação para sistemas naturais, pode ser utilizada pelo interesse público para construção de sedes de propriedades públicas de interesse coletivo.</p>
<b>Ações de Manejo</b>	<p>Incentivar a realização de planos de recuperação de áreas degradadas;</p> <p>Monitorar as áreas irregulares em faixas de APPs;</p> <p>Fiscalização e monitoramento do uso da área, visando a orientação para atividades com práticas conservacionistas.</p>
<b>Legislação e Documentos</b>	<p>Constituição da República Federativa do Brasil</p> <p>Lei nº 6.938/1981 - Política Nacional de Meio Ambiente</p> <p>Lei nº 7.663/1991 - Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo</p> <p>Lei nº 9.433/1997 - Política Nacional de Recursos Hídricos</p> <p>Lei Estadual nº 9.509/1997 - Política Estadual do Meio Ambiente de São Paulo</p> <p>Dec 4.297/2002 – Critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil</p> <p>Lei nº 11.428/2006 – Lei da Mata Atlântica</p> <p>Lei 12.651/2012 – Código Florestal Brasileiro</p> <p>Plano Diretor Urbano de Ibiúna</p>

**ZONA DE MONITORAMENTO**

<b>Características</b>	<p>Zona com edificações situadas na faixas de preservação permanente. Inclue-se nestes ambientes, fragmentos florestais de tamanho pequeno, entremeados às áreas residencias e de cultivos agrícolas, a Estação de Tratamento de Efluentes e do Aterro Sanitário do município de Ibiúna e malha viária permitindo amplo acesso a estas áreas.</p> <p>Os fragmentos florestais desta zona representam áreas de vegetação menores que 5ha, em relevo ondulado, altitude entre 900 a 110m, com hidrografia contida em 81% destas áreas. Esta área encontram-se com 22% de suas áreas em argissolo, com textura argilosa e matéria orgânica atingindo 66%, induzindo assim uma predisposição a retenção de água, boas taxas de umidades e microclima favorável a outros organismos em seu interior. A biomassa vegetativa é considerada densa (NDVI 0,50 a 0,76), com reflectância fotoquímica moderada (sPRI 0,43 a 0,57) e fluxo de carbono regular (CO2flux 0,22 a 0,39). O inventário de avifauna nestas áreas identificou 147 espécies (46 Famílias e 20 Ordens), com uma abundância de 9.025 indivíduos visualizados.</p> <p>As edificações apresentam um índice de inserção social variando entre bom e ótimo, com índices satisfatórios de renda, educação e domicílios. O índice de qualidade de moradias encontra-se entre ruim e ótimo, tendo edificações com presença ou ausência de saneamento básico, resultando em um indicador de qualidade socioambiental de regular a ótimo.</p>
<b>Objetivos</b>	<p>Controlar as atividades em áreas de preservação permanente, visando minimizar a expansão de áreas residencias nestas áreas;</p> <p>Controlar e conservar as atividades antrópicas em áreas de fragmentos florestais de tamanho menor que 5ha, inclusive em seu entorno.</p>
<b>Conflitos Socioambientais</b>	<p>Areas situadas no interior de APPs com impossibilidade de recuperação total/parcial para sistemas naturais;</p> <p>Alto efeito antrópico no entorno de fragmentos florestais de tamanho menor que 5ha;</p> <p>Efeito de borda e pré-disposição de áreas de fragmentos florestais a ventos, luz, umidade, temperatura, etc;</p> <p>Edificações apresentam baixas taxas de saneamento básico.</p>
<b>Usos Permitidos</b>	<p>Estudos ambientais de recomposição da vegetação de framentos florestais pequenos;</p> <p>Estudos ambientais sobre a fragmentação florestal em áreas residencias e agrícolas;</p> <p>Estudos ambientais de riqueza, distribuição e extinção de espécies da fauna e flora;</p> <p>Coleta e tratamento de lixo domésticos, industriais e hospitalar no interior do Aterro Sanitário Municipal;</p> <p>Coleta e tratamento de efluentes no interior da Estação de Tratamento de Efluentes Domésticos.</p>
<b>Potencialidades</b>	<p>Conectividade de fragmentos florestais próximos, buscando o aumento da área de vegetação natural da bacia;</p> <p>Desenvolvimento de pesquisas científicas sobre a influência residencial e urbana na fragmentação florestal;</p> <p>Desenvolvimento de programas de educação ambiental para a população local;</p> <p>Investimento em programas de saneamento básico para as edificações com baixas taxas de rede de água, esgoto e lixo.</p>
<b>Ações de Manejo</b>	<p>Fiscalização e monitoramento do uso da terra em áreas de APPs, visando minimizar a expansão das edificações já instaladas e de atividades associadas;</p> <p>Sensibilização das funções ecológicas das áreas de preservação permanentes para a população local;</p> <p>Monitoramento da qualidade do despejos de efluentes pós-tratamento na rede hidrográfica;</p> <p>Controle da erosão do solo, supressão e desmatamento da vegetação natural;</p> <p>Recomposição da mata ciliar dos cursos d'água com residencias já instaladas.</p>
<b>Legislação e Documentos</b>	<p>Constituição da República Federativa do Brasil</p> <p>Lei nº 6.938/1981 - Política Nacional de Meio Ambiente</p> <p>Lei nº 7.663/1991 - Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo</p> <p>Lei nº 9.433/1997 - Política Nacional de Recursos Hídricos</p> <p>Lei Estadual nº 9.509/1997 - Política Estadual do Meio Ambiente de São Paulo</p>

---

Dec 4.297/2002 – Critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil  
Lei nº 11.428/2006 – Lei da Mata Atlântica  
Lei 12.651/2012 – Código Florestal Brasileiro  
Lei Estadual nº 12.300/2006 - Política Estadual de Resíduos Sólidos  
Plano Diretor Urbano de Ibiúna

---

<b>ZONA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE</b>	
<b>Características</b>	Zona com área de floresta ombrófila densa montana e comunidade aluvial, rio Una e seus afluentes, lagos e lagoas urbanas e rurais, que englobam as faixas marginais de 30 metros para a hidrografia e 50 metros para as nascentes, além das áreas com declive acima de 45 graus. Essas áreas encontram-se em declividade entre 0 a 164%, altitude entre 850 a 1130m e sombreamento entre 0 a 254 níveis de luminosidade. Em áreas de latossolos, possuem predominância de textura franco-argilosa em comunidades aluviais com maior retenção de água, condizendo com suas características fitogeográficas e franco-argilo-arenosa em fragmentos florestais, com matéria orgânica em torno dos 68%. A biomassa vegetativa é boa (NDVI 0,50 a 0,77), reflectância fotoquímica moderada (sPRI 0,41 a 0,59) e fluxo de carbono regular (CO2flux 0,20 a 0,40). Em áreas de fragmentos, o inventário de avifauna identificou 147 espécies (46 Famílias e 20 Ordens), com uma abundância de 9.025 indivíduos visualizados.
<b>Objetivos</b>	Preservação das áreas úmidas e da mata ciliar; Preservação dos fragmentos de Floresta Ombrófila Densa Montana e das espécies que nela residem; Conservação da hidrografia local.
<b>Conflitos Socioambientais</b>	Proximidade com atividade de influência antrópica ao longo de toda a zona.
<b>Usos Permitidos</b>	Desenvolvimento de pesquisas científicas, desde que autorizada pelo órgão ambiental competente. Estudos voltados a educação ambiental
<b>Potencialidades</b>	Preservação dos recursos naturais e manutenção das áreas úmidas e florestais, buscando a qualidade das APPs, do seu entorno.
<b>Ações de Manejo</b>	Fiscalização e monitoramento das áreas, a fim de evitar o uso e a exploração; Sensibilização das funções ecológicas das áreas de preservação permanentes; Sensibilização da população quanto as funções ecológicas das áreas úmidas e de floresta; Restrição à ocupação no território da zona. Estudos de monitoramento da qualidade hídrica;
<b>Legislação e Documentos</b>	Constituição da República Federativa do Brasil Lei nº 6.938/1981 - Política Nacional de Meio Ambiente Lei nº 7.663/1991 - Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo Lei nº 9.433/1997 - Política Nacional de Recursos Hídricos Lei Estadual nº 9.509/1997 - Política Estadual do Meio Ambiente de São Paulo Dec 4.297/2002 – Critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil Lei 12.651/2012 – Código Florestal Brasileiro Plano Diretor Urbano de Ibiúna SALES, J.C.A. Metodologia para identificação de áreas de risco e prioritárias para conservação da avifauna na Bacia Hidrográfica do rio Una, Ibiuna/SP

**ZONA AGRÍCOLA PRIMÁRIA**

<b>Características</b>	<p>Zona composta por cultivos agrícolas temporários, silvicultura e pecuária, em relevo predominantemente iluminado, com malha viária desenvolvida e proximidade da rodovia estadual SP250 Bunjiro Nakão.</p> <p>As áreas de cultivos encontram-se em declividade entre 0 a 99%, com relevo entre plano a suavemente ondulado, altitude entre 850 a 1109m. Os cultivos predominam em latossolos, com 163ha em argissolos, com textura argilosa predominante e matéria orgânica de até 63%.</p> <p>As áreas de pastagens encontram-se em declividade entre 0 a 82%, com relevo entre plano a suavemente ondulado e altitude entre 850 a 1090m. Com apenas argissolo, as áreas variam entre argilosa e argilo-arenosa e seu teor de matéria orgânica pode alcançar 57%.</p> <p>As áreas de silviculturas representadas por cultivos de <i>Eucalipto</i> sp. e <i>Pinus</i> sp. estão em declividade entre 0 a 98%, com relevo entre plano a suavemente ondulado, altitude entre 865 a 1105m. Com predominância de latossolos, essas áreas possuem textura entre argilosa e argilo-arenosa. Apenas 46ha de áreas de silvicultura encontram-se em argissolos, sendo o teor de matéria orgânica alcançando taxas de 70%.</p>
<b>Objetivos</b>	<p>Desenvolver e consolidar os cultivos com características botânicas e fisiológicas para altas taxas de luminosidade, fomentando a economia local e regional através da produção agropastoril com práticas sustentáveis e conservação da água, do solo e da saúde da população.</p>
<b>Conflitos Socioambientais</b>	<p>Degradação e contaminação dos recursos hídricos;          Introdução de espécies exóticas;          Práticas agrícolas com uso de agrotóxicos e queimadas;          Supressão vegetal para a formação de áreas de pastagens;          Erosão e lixiviação do solo.</p>
<b>Usos Permitidos</b>	<p>Produção de cultivos temporários diversificados, silvicultura com objetivo de extração de madeira e pecuária de animais de pequeno, médio e grande porte.</p>
<b>Potencialidades</b>	<p>Consolidação da economia agrícola do município de Ibiúna;          Geração de emprego e renda local através do vínculo entre produtor e população;          Consolidação e incentivo à agricultura familiar;          Implementação de políticas de desenvolvimento sustentável agrícola;</p>
<b>Ações de Manejo</b>	<p>Fiscalização e monitoramento do uso de agrotóxicos e de queimadas;          Orientação para a análise de solos com antecedência mínima de três meses ao plantio;          Avaliar periodicamente a matéria orgânica do solo, buscando a sua influencia positiva da densidade, porosidade, liberação e fixação de nutrientes, regulação do pH, fonte de alimento para micro-organismos;          Avaliação periódica da qualidade e contaminação dos recursos hídricos por agrotóxico;          Adequação das atividades agrícolas à legislação ambiental com termos de ajustamento de conduta ou instrumento equivalente, quando necessário;          Orientação e desenvolvimento de capacitação ao pequenos, médios e grandes produtores sobre práticas agrícolas sustentáveis;          Incentivo e fortalecimento da cadeia de produção agroecológica local, buscando parcerias com ongs, comitê de bacias, prefeitura e sociedade civil;          Indicação de avaliação da fertilidade do solo e nutrição de plantas. Recomenda-se a utilização do <i>softwares</i> gratuitos FERTI-UFV e NUTRI-UFV (<a href="http://www.agrosistemas.ufv.br/">http://www.agrosistemas.ufv.br/</a>);          Orientar para o uso de água em períodos de irrigação, considerando a taxa evapotranspiração da cultura em função da luminosidade do terreno e a característica argilosa na retenção de água. Sugere-se a utilização do Boletim Técnico n. 196 do Instituto Agrônomo de Campinas;          Em Latossolos:</p>

	<p>Recomendação para a produção de culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento.  Orientar para a necessidade de correções do solo quanto a acidez e a baixa fertilidade;  Orientar para a inviabilidade do uso de fogo e pisoteio excessivo de animais em áreas de pastagens, buscando evitar o solo exposto e ressecamento;  Orientar para o fato de que em latossolos com teores elevados de areia, há maior suscetibilidade de erosão e lixiviação de nutrientes, requerendo tratamentos conservacionistas manejo cuidadoso.  latossolos argilosos estão suscetíveis à erosão mesmo depois do preparo para o plantio.  Em Latossolos argilosos, orientar para o fato de que quando intensamente mecanizados, sua porosidade é reduzida e forma uma camada compactada (20 a 30 cm), dificultando o enraizamento das plantas e a infiltração da água.  Em Argissolos:  Orientar para a forte ocorrência de erosão em áreas de cultivos com transições abruptas de texturas granulométricas associadas ao aumento de declividade;  Orientar para a utilização de práticas de conservação do solo buscando evitar as perdas de fertilizantes e de corretivos por erosão em argissolos distróficos e álicos.  Em solos com fertilidade elevada, indica-se a produção voltada a agricultura familiar, com inviabilidade de aplicação de capital;  Em solos com fertilidade intermediária, indica-se a produção mais intensiva e de culturas perenes.</p>
<p><b>Legislação e Documentos</b></p>	<p>Constituição da República Federativa do Brasil  Lei nº 7.663/1991 - Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo  Lei nº 9.433/1997 - Política Nacional de Recursos Hídricos  Lei Estadual nº 9.509/1997 - Política Estadual do Meio Ambiente de São Paulo  Dec 4.297/2002 – Critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil  Lei Estadual nº 12.300/2006 - Política Estadual de Resíduos Sólidos  Plano Diretor Urbano de Ibiúna  Solos para todos: perguntas e respostas (EMBRAPA Solos, 2014)  Agência de Informação EMBRAPA: Latossolos e argissolos  (<a href="http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_97_10112005101957.html">http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_97_10112005101957.html</a>)  Boletim Técnico n. 196 do Instituto Agrônomo de Campinas (2011)</p>

<b>ZONA AGRÍCOLA SECUNDÁRIA</b>	
<b>Características</b>	Zona apresenta exclusivamente áreas de cultivos agrícolas temporários em relevo predominantemente sombreado, com malha viária desenvolvida e proximidade com a rodovia estadual SP250 Bunjiro Nakão. As áreas encontram-se em declividade entre 0 a 98%, com relevo entre plano a suavemente ondulado, altitude entre 850 a 1155m. Localizando-se exclusivamente em latossolos, as áreas de cultivos apresentam textura argilosa ao norte, franco-argilosa ao centro e argilosa ao sul. Os teores de matéria orgânica podem alcançar 70%.
<b>Objetivos</b>	Desenvolver e consolidar os cultivos com características botânicas e fisiológicas para baixas taxas de luminosidade, fomentando a economia local e regional através da produção agrícola com práticas sustentáveis e conservação da água, do solo e da saúde da população.
<b>Conflitos Socioambientais</b>	Degradação e contaminação dos recursos hídricos; Introdução de espécies exóticas; Práticas agrícolas com uso de agrotóxicos e queimadas; Supressão vegetal para a formação de áreas de pastagens; Erosão e lixiviação do solo.
<b>Usos Permitidos</b>	Produção de cultivos temporários diversificados.
<b>Potencialidades</b>	Consolidação da economia agrícola do município de Ibiúna; Geração de emprego e renda local através do vínculo entre produtor e população; Consolidação e incentivo à agricultura familiar; Implementação de políticas de desenvolvimento sustentável agrícola.
<b>Ações de Manejo</b>	Fiscalização e monitoramento do uso de agrotóxicos e de queimadas; Orientação para a análise de solos com antecedência mínima de três meses ao plantio; Avaliar periodicamente a matéria orgânica do solo, buscando avaliar a sua influência positiva da densidade, porosidade, liberação e fixação de nutrientes, regulação do pH, fonte de alimento para micro-organismos; Avaliação periódica da qualidade e contaminação dos recursos hídricos por agrotóxico; Adequação das atividades agrícolas à legislação ambiental com termos de ajustamento de conduta ou instrumento equivalente, quando necessário; Orientação e desenvolvimento de capacitação ao pequenos, médios e grandes produtores sobre práticas agrícolas sustentáveis; Incentivo e fortalecimento da cadeia de produção agroecológica local, buscando parcerias com ongs, comitê de bacias, prefeitura e sociedade civil; Indicação de avaliação da fertilidade do solo e nutrição de plantas. Recomenda-se a utilização do <i>softwares</i> gratuitos FERTI-UFV e NUTRI-UFV ( <a href="http://www.agrosistemas.ufv.br/">http://www.agrosistemas.ufv.br/</a> ); Orientar para o uso de água em períodos de irrigação, considerando a taxa evapotranspiração da cultura em função da luminosidade do terreno e observar as características de retenção de água pela textura argilosa predominante. Sugere-se a utilização do Boletim Técnico n. 196 do Instituto Agrônomo de Campinas; Em Latossolos: Recomendação para a produção de culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento. Orientar para a necessidade de correções do solo quanto a acidez e a baixa fertilidade; Orientar para a inviabilidade do uso de fogo e pisoteio excessivo de animais em áreas de pastagens, buscando evitar o solo exposto e ressecamento; Orientar para o fato de que em latossolos com teores elevados de areia, há maior suscetibilidade de erosão e lixiviação de nutrientes, requerendo tratamentos conservacionistas manejo cuidadoso.

	<p>latossolos argilosos estão suscetíveis à erosão mesmo depois do preparo para o plantio. Em Latossolos argilosos, orientar para o fato de que quando intensamente mecanizados, sua porosidade é reduzida e forma uma camada compactada (20 a 30 cm), dificultando o enraizamento das plantas e a infiltração da água da chuva.</p>
<p><b>Legislação e Documentos</b></p>	<p>Constituição da República Federativa do Brasil  Lei nº 7.663/1991 - Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo  Lei nº 9.433/1997 - Política Nacional de Recursos Hídricos  Lei Estadual nº 9.509/1997 - Política Estadual do Meio Ambiente de São Paulo  Dec nº 4.297/2002 – Critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil  Lei nº 11.428/2006 – Lei da Mata Atlântica  Plano Diretor Urbano de Ibiúna  Solos para todos: perguntas e respostas (Embrapa Solos, 2014)  Agência de Informação EMBRAPA: Latossolos e Argissolos  (<a href="http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_97_10112005101957.html">http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_97_10112005101957.html</a>)  Boletim Técnico n. 196 do Instituto Agronômico de Campinas (2011)</p>

---

---

## CAPÍTULO IX

### Conclusão

---

---

Esta tese caminhou em três vertentes: as diretrizes, os parâmetros e as técnicas, que se interligaram no domínio da gestão ambiental para subsidiar o ordenamento territorial de bacias hidrográficas.

O levantamento dos estudos sobre estas áreas, revelou a escassez das pesquisas ZEEs e permitiu compreender a dinâmica de trabalho em diferentes regiões do país, auxiliando o desenvolvimento de um conjunto de diretrizes para alavancar o desenvolvimento do ZEE em bacias hidrográficas, sendo um importante documento para pesquisadores e gestores.

Embora as diretrizes metodológicas para o ZEE do Ministério do Meio Ambiente tenha a pretensão de atingir esses méritos, ela se mostra simplista no tocante a diversidade de territórios e, portanto, as diretrizes produzidas são capazes de auxiliar e orientar de forma específica o ordenamento territorial das bacias hidrográficas. Os resultados dessa etapa já sugerem que diretrizes para o ZEE sejam realizadas para outras áreas ambientais.

A proposta de zoneamento para a bacia hidrográfica do rio Una foi elaborada conforme as diretrizes metodológicas construídas. O desafio de compreender os múltiplos usos que ocorrem no domínio da bacia e as suas interações com os recursos hídricos, demandou a investigação de parâmetros qualitativos e quantitativos de diferentes ordens, uma vez que não se admitiu neste estudo, estabelecer um zoneamento sem considerar a influência social e econômica sobre os recursos naturais, fato que motiva um zoneamento denominado como ecológico-econômico.

No processo de coleta e análise de dados, esta pesquisa apresentou demandas que necessitavam conciliar conflitos entre dados, pois a área de estudo possuía diferentes características que demandam análises exaustivas para produção de um ZEE funcional. Igualmente, a coleta de dados em campo era dificultada pela baixa estrutura social, com vias de difícil acesso, áreas irregulares e maior demanda de campo para cumprir uma malha amostral suficiente que representasse espacialmente as características da bacia.

A bacia apresentou uma paisagem degradada, com diferentes conflitos, sendo 60 % do território ocupado por atividades de ordem antrópica e influência da atividade agrícola. O mapeamento detalhado do uso da terra auxiliou o planejamento desta área e a qualidade deste produto cartográfico deve subsidiar a gestão e a implantação do ZEE na área.

Buscando contribuir com o entrave de aprimorar metodologicamente a elaboração do ZEE através de novas técnicas e parâmetros, esse estudo apresentou quatro novas contribuições ao processo.

A primeira, a partir do uso da lógica *fuzzy*, foi desenvolvido o IDBH, um índice capaz de avaliar e apresentar uma classificação da degradação para bacias hidrográficas em cinco níveis, com base na morfometria e na realidade da paisagem no território avaliado.

A segunda, a partir do sensoriamento remoto orbital e de índices vegetativos, utilizados para o diagnóstico da qualidade da vegetação através de seus processos fotossintéticos e da interação com a radiação eletromagnética. Apesar do alto vigor vegetativo constatado e do bom padrão de taxa fotoquímica, o fluxo de carbono atmosférico poderia ser maior se estas áreas estiverem intactas e com densidade elevada na bacia do rio Una.

A terceira, se deu pela inclusão de uma metodologia de espacialização de dados secundários socioambientais para subsidiar os estudos de ordenamento territorial. Importante questão é que estes dados são poucos divulgados para o uso público, mas permitem, com fluidez e confiabilidade, o diagnóstico socioambiental.

A quarta, se deu através do processo de integração de todos os parâmetros investigados, com base na definição de uma metodologia denominada como “analítica-agregativa”, por possibilitar a análise, sobreposição e interseção do uso da terra aos parâmetros investigados. Essa metodologia simplificada foi idealizada para auxiliar e beneficiar a elaboração do ZEE com uma menor complexidade, sendo considerada eficiente. Tem, portanto, a capacidade de ser replicada em outras bacias hidrográficas.

Quanto ao ZEE elaborado, as oito zonas de manejo delimitadas permitem, com maior ação e monitoramento, a ação efetiva dos órgãos gestores. A soma das zonas agrícolas apresentou a maior área territorial, enquanto as áreas de conservação e preservação foram insistentemente investigadas e enquadradas nas zonas de conservação e preservação permanente. A delimitação destas duas últimas visam a garantia da qualidade ambiental natural da bacia e permitem estudos futuros, inclusive da viabilidade de corredores ecológicos nestas áreas.

A proposta de ZEE encontra-se de acordo com o Decreto 4.297 de 10 de junho de 2002, o qual incentiva os princípios da utilidade e da simplicidade, facilitando a implantação de limites e restrições pelo poder público e a compreensão pelos cidadãos, a proteção, conservação e recuperação dos recursos naturais.

## REFERÊNCIAS

- ABDALA, V. L. **Zoneamento da Bacia do alto curso do rio Uberaba - MG como subsídio para a gestão do recurso hídrico superficial**. Dissertação (Mestrado em Geografia). – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 87f. 2005.
- ABDORAL, L. A.; SCHULER, C. A. B. Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata Atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.6, p.607–614, 2007.
- ABREU, K. M. P; COUTINHO, L. M. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. **Vértices**, v. 16, n. 1, 2014, pg. 173-198.
- ACSELRAD, H. Zoneamento ecológico-econômico e a multiplicação de ordens socioambientais na Amazônia. **Novos Cadernos Naea**, Pará, v. 3, n. 2, p. 005-015, 2000.
- AGGIDIS, G. A.; BENZON, D. S. Operational optimisation of a tidal barrage across the Mersey estuary using 0-D modelling. **Ocean Engineering**, v. 66, 69–81, 2013.
- AGGIDIS, G. A.; BENZON, D. S. Operational optimisation of a tidal barrage across the Mersey estuary using 0-D modelling. **Ocean Engineering**, v. 66, 69–81, 2013.
- AHAMED, T. et al. A review of remote sensing methods for biomass feedstock production. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 2455–2469, 2011.
- ALMEIDA, C. G.; MORO, R. S. Análise da cobertura florestal no Parque Nacional dos Campos Gerais, Paraná, como subsídio ao seu plano de manejo. **Terr@ Plural**, v. 1, n. 1, p.115-122, 2007.
- ALVES, H. P. F. Análise da vulnerabilidade socioambiental em Cubatão-SP por meio da integração de dados sociodemográficos e ambientais em escala intraurbana. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 30, n. 2, p. 349-366, 2013.
- AMORIM, R. R.; OLIVEIRA, R. C. Zoneamento ambiental, subsídio ao planejamento no uso e ocupação das terras da costa do descobrimento. **Mercator**, v. 12, n. 29, p. 211-231, 2013.
- ANTÓN, D. J. **Ciudades sedientas: agua y ambientes urbanos en America Latina**. Montivedeo: NORDAN-Comunidad, 1996. 204p.
- AUSTIN, A. T. Latin America's Nitrogen Challenge. **Science**, v. 340, 2013.
- ÁVILA, L. F. et al. Partição da precipitação pluvial em uma microbacia hidrográfica ocupada por mata atlântica na Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 583-595, 2014.
- AYRES, M. **Biostat**. 2007.

BACANI, V. M.; LUCHIARI, A. Geoprocessamento aplicado ao zoneamento ambiental da bacia do alto rio Coxim – MS. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, v. 18, n. 1, p. 184-197, 2014.

BADAR, B.; ROMSHOO, S. A.; KHAN, M. A. Integrating biophysical and socioeconomic information for prioritizing watersheds in a Kashmir Himalayan lake: a remote sensing and GIS approach. **Environmental Monitoring Assessment**, v. 185, p. 6419–6445, 2013.

BAJABAA, S.; MASOUD, M.; Al-AMRI, N. Flash flood hazard mapping based on quantitative hydrology, geomorphology and GIS techniques (case study of Wadi Al Lith, Saudi Arabia). **Arabian Journal Geosciences**, v. 7, p. 2469–2481, 2014.

BAPTISTA, G. M. M. Validação da modelagem de sequestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados AVIRIS e HYPERION. In: XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05- 10 abril 2003. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 1037-1044, 2003.

BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) *Matas ciliares: conservação e recuperação*. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BARROS, M. V. A. Ecological and economic zoning system as a tool for environmental planning: references the national policy on environment and its instruments – PNMA. **Review Of Research**, v. 4, n. 7, p. 1-12, 2015.

BASSAB, W. O.; MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. F. **Introdução à Análise de Agrupamentos**. Associação Brasileira de Estatística - ABE. São Paulo. 1990. p. 87.

BENDER, M. **Zoneamento ambiental e avaliação dos recursos hídricos na sub-bacia do rio Rocinha, município de Lauro Muller, SC**. Dissertação (Mestrado em Geografia). - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 98f. 1998.

BIZAMA et al. Pérdida y fragmentación del bosque nativo en la cuenca del río Aysén (Patagonia-Chile) durante el siglo XX1. **Revista de Geografía Norte Grande**, v. 49, p. 125-138, 2011.

BLUM, C. T.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F. Composição florística e distribuição altitudinal de epífitas vasculares da Floresta Ombrófila Densa na Serra da Prata, Morretes, Paraná, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 4, p. 141-159, 2012.

BORGES, L. F. R. et al. Inventário de fragmentos florestais nativos e propostas para seu manejo e o da paisagem. **Cerne**, v. 10, n. 1, p. 22-38, 2004.

BOSA, D. M. et al. Florística e estrutura do componente arbóreo de uma floresta ombrófila densa montana em Santa Catarina, Brasil. **Árvore**, v. 39, n. 1, p. 49-58, 2015.

BRANCO, S. M.; CAVINATTO, V. M. **Solos – A base da vida terrestre**. São Paulo: Moderna. 1999. 79p.

BRANCO, S. M.; CAVINATTO, V. M. **Solos – A base da vida terrestre**. São Paulo: Moderna. 1999. 79p.

BRASIL. **Lei 4.504 de 30 de Novembro de 1964.** Dispõe sobre o Estatuto da Terra e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 1964.

\_\_\_\_\_. **Lei 6.803 de 2 de Julho de 1980.** Dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 1980.

\_\_\_\_\_. **Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 1981.

\_\_\_\_\_. **Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília, 1988.

\_\_\_\_\_. **Lei 7.661 de 16 de maio de 1988.** Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 1988.

\_\_\_\_\_. **Lei 8.171 de 17 de janeiro de 1991.** Dispõe sobre a política agrícola. Diário Oficial da União, Brasília, 1991.

\_\_\_\_\_. **Lei 9.433 de 8 de Janeiro de 1997.** Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, 1997.

\_\_\_\_\_. **Decreto 99.193 de 27 de março de 1990.** Dispõe sobre as atividades relacionadas ao zoneamento ecológico-econômico e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 1990.

\_\_\_\_\_. **Lei n. 9.795 de 27 de Abril de 1999.** Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências.

\_\_\_\_\_. **Lei 9.985 de 18 de Julho de 2000.** Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC. Estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. Diário Oficial da União, Brasília, 2000.

\_\_\_\_\_. **Decreto de 28 de dezembro de 2001.** Dispõe sobre a Comissão Coordenadora do Zoneamento Ecológico-Econômico do Território Nacional e o Grupo de Trabalho Permanente para a Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico, institui o Grupo de Trabalho Permanente para a Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico, denominado de Consórcio ZEE-Brasil e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2001.

\_\_\_\_\_. **Lei 10.257, de 10 de julho de 2001.** Dispõe sobre o Estatuto da Cidade e Legislação Correlata. Diário Oficial da União, Brasília, 2001.

\_\_\_\_\_. **Decreto 4.297 de 10 de Julho de 2002.** Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2002.

\_\_\_\_\_. **Decreto n. 5.300 de 7 de dezembro de 2004.** Regulamenta a Lei n. 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2004.

\_\_\_\_\_. **Diretrizes metodológicas para o Zoneamento Ecológico-Econômico.** 2006. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/destaques/item/7529-diretrizes-metodologicas>>. Acesso em 06 jan. 2016.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 11.428 de 22 de dezembro de 2006.** Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Brasília, DF. 2006.

\_\_\_\_\_. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2006. Zoneamento Ecológico Econômico e Proteção da Biodiversidade. Seminário Zoneamento Ecológico Econômico e Biodiversidade. **Caderno de Resumos.** Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=28&idConteudo=8959&idMenu=9716>>. Acesso em: 20 de out de 2015.

\_\_\_\_\_. **Lei Complementar 140 de 8 de dezembro de 2011.** Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981. Diário Oficial da União, Brasília, 2011b.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. 2011a. **Programa de Zoneamento Ecológico Econômico.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em: 19 de out de 2015.  
**BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília, 1988.

\_\_\_\_\_. **Decreto n. 7.747 de 5 de junho de 2012.** Institui a Política Nacional de Gestão Territorial e Ambiental de Terras Indígenas – PNGATI, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2012b.

\_\_\_\_\_. **Lei 12.651 de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2012.

BÜHRING, R. **Estudo da dinâmica de uso do solo e cobertura vegetal e elaboração de uma proposta de zoneamento para a bacia hidrográfica do Tarumã, Manaus, Amazonas.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas. 243f. 2010.

BUTSIC, V.; LEWIS, D. J.; RADELOFF, V. C. Lakeshore zoning has heterogeneous ecological effects: an application of a coupled economic-ecological model. **Ecological Applications**, v. 20, n. 3, p. 867–879, 2010.

CALEGARI et al. Analysis of the dynamics of forest fragments in the city of Carandaí, MG, for forest restoration. **Árvore**, v. 34, n. 5, p. 871-880, 2010.

CÂMARA, G. et al. Conceitos básicos em geoprocessamento. In: Câmara, G.; Barbosa, C. C. F.; Davis C.; Fonseca F. **Fundamentos de geoprocessamento.** 1999.

CAMARGO, R. A. **Avaliação da suscetibilidade à erosão e proposição de zoneamento estratégico com vistas à sustentabilidade da Bacia hidrográfica do rio Piranga, MG.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa. 121f. 2012.

CAMPBELL, H. E.; KIM, Y.; ECKERD, A. Local zoning and environmental justice: an agent-based model analysis. **Urban Affairs Review**, v. 50, n. 4, p. 521–552, 2014.

CANAVESI, V.; PONZONI, F. J.; VALERIANO, M. M. Estimativa de Volume de madeira em plantios de Eucalyptus spp. utilizando dados hiperespectrais e dados topográficos. **Árvore**, v. 34, n. 3, p. 539-549, 2010.

CARDOSO, C. A et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Árvore**, v. 30, n. 2, p.241-248, 2006.

CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, n. 36, p. 26-43, 2014.

CASTANHEIRA, E. G. et al. Environmental sustainability of biodiesel in Brazil. **Energy Policy**, v. 65, p. 680–691, 2014.

CASTRO, E. C.; FERREIRA, N. C. Diagnóstico do padrão de paisagem com métricas dos remanescentes de vegetação em Goiânia. **Habitus**, v.7, n.1, p.229-247, 2009.

CHUERUBIM, M. L.; PAVANIN, E. V. Análise do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do córrego barbosa no ano de 2011. **GEOUSP – espaço e tempo**, n. 33, p. 229-238, 2013.

CIAGRO. CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEREOLÓGICAS. Série histórica de pluviosidade mensal de Sorocaba – SP. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Quadros/QChuvaPeriodo.asp>> Acesso em: 21 jun. 2015.

CLARK LABS. **Idrisi Selva**. Worcester: Clark Labs, Clark University. 2012. 324p.

COSTA, R.A.; NISHIYAMA, L. Zoneamento ambiental das áreas urbana e de expansão urbana de Caldas Novas (GO): uma contribuição metodológica. **Raega**, v. 25, p. 343-372, 2012.

CUNHA, R. C. et al. Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades. estudo do caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos – SP. **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 399-414, 2011.

DATAGEO - **Infraestrutura de dados espaciais ambientais do Estado de São Paulo**. Disponível em: < <http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>> Acesso em 1 ago. 2016.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo - SP usando imagens Landsat-5. **Raega**, v. 21, p. 234-271, 2011.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Les types de climats annuels au Brésil: une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015. **EchoGéo**, v. 41, p. 1-28, 2017.

ELHAG, M. Characterization of a Typical Mediterranean Watershed Using Remote Sensing Techniques and GIS Tools. **Hydrology Current Research**, v. 6, n. 1, p. 2-7, 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

\_\_\_\_\_. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. BATISTA, M. A.; PAIVA, D. W.; MARCOLINO, P. (Orgs.) **Solos para todos: perguntas e respostas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2014. 87 p.

\_\_\_\_\_. Agência de Informação EMBRAPA. **Latosolos e argissolos**. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01\\_97\\_10112005101957.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_97_10112005101957.html)>. Acesso em 22 nov. 2016.

ESRI. ECONOMIC AND SOCIAL RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS**. 2014.

ESTEVEZ, L. F.; CUNICO, C.; MEZZOMO, M. M.; BIESEK, A. S.; MAGANHOTTO, R. Análise da paisagem da bacia hidrográfica do rio Marumbi, Morretes - PR: unidades de paisagem, fragilidade potencial e hemerobia. **Raega**, v. 23, p. 428-447, 2011.

FALVO, G. **Zoneamento da bacia hidrográfica do rio Miringuava utilizando-se de técnicas de análise multivariada**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná. 138f. 1996.

FERRARI, J. L. et al. Análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre, ES. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 181-188, 2013.

FLAUSINO, R. F.; SOUZA-SANTOS, R.; OLIVEIRA, R. M. Indicadores Socioambientais para Vigilância da Dengue em Nível Local. **Saúde e Sociedade**, v. 20, n. 1, p. 225-240, 2011.

GAMBA, C.; RIBEIRO, C. W. Indicador e Avaliação da Vulnerabilidade Socioambiental no Município de São Paulo. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, n. 31, p. 19-31, 2012.

GAMON, J. A.; PENUELAS, J.; FIELD, C. B. A narrow waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. **Remote Sensing of Environment**, v. 41, p. 35-44, 1992.

GAMON, J. A.; SERRANO, L.; SURFUS, J. S. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. **Oecologia**, v. 112, n.4, p. 492-501, 1997.

GENELETTI, D.; DUREN, I. V. Protected area zoning for conservation and use: A combination of spatial multicriteria and multiobjective evaluation. **Landscape and Urban Planning**, China, v. 85, p. 97–110, 2008.

GOERL, R. F. et al. Elaboração e Aplicação de Índices de Fragmentação e Conectividade da Paisagem para Análise de Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, p. 1000-1012, 2011.

GOUVEIA, R. G. L. Aplicação do índice de transformação antrópica na análise multitemporal da bacia do Córrego do Bezerro Vermelho em Tangará da Serra-MT. **Árvore**, v. 37, n. 6, p. 1045-1054, 2013.

HALL, C. A. S.; DAY JR., J. W. Revisiting the limits to growth after peak oil. **American Scientist**, v. 97, p. 230-237, 2009.

KAEHLER, T. G. **Proposta de zoneamento da bacia hidrográfica do rio Jacuí com vistas ao licenciamento de barramentos e conservação de estoques de peixes migradores**. Dissertação (Mestrado em Zoologia) - Pontifícia Universidade Católica do Rio grande do Sul. 80p. 2011.

KONRAD, C. G. **Zoneamento ambiental da microbacia hidrográfica do reservatório do Dnos de Santa Maria – RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia). – Universidade Federal de Santa Maria. 114f. 2005.

HONG, B. et al. Connecting the ecological-economic dots in human-dominated watersheds: Models to link socio-economic activities on the landscape to stream ecosystem health. **Landscape and Urban Planning**, v. 91, p. 78–87, 2009.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <[www.censo2010.ibge.gov.br](http://www.censo2010.ibge.gov.br)>. Acesso em 14 ago. 2015.

IAC. INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Boletim técnico 106** - Métodos de análise química, mineralógica e física de solos. Campinas: IAC, 2009. 77p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <[www.censo2010.ibge.gov.br](http://www.censo2010.ibge.gov.br)>. Acesso em 14 set. 2015.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: IBGE. 2012. 271p.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: IBGE. 2013a. 171p.

\_\_\_\_\_. **Produção Agrícola Municipal**. Culturas Temporárias e permanentes. v. 40, 2013b, 102p.

\_\_\_\_\_. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura em 2014**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

IBIÚNA. **Lei n. 1236 de 13 de dezembro de 2006**. Institui o Plano Diretor da Estância Turística de Ibiúna. Ibiúna, SP. 2006.

IGC - Instituto Geografico e Cartográfico. **Carta Topográfica do município de Ibiúna, São Paulo**. 1978.

IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10)** - revisão para atendimento da deliberação CRH 62. 2008. 352p.

JESUS, E. N. et al. Estrutura dos fragmentos florestais da bacia hidrográfica do rio Poxim-SE, como subsídio à restauração ecológica. **Revista Árvore**, v. 39, n. 3, p. 467-474, 2015.

JOHANSEN, B.; TOMMERVIK, H. The relationship between phytomass, NDVI and vegetation communities on Svalbard. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 27, p. 20–30, 2014.

KIRPICH, Z. P. Time of concentration of small agricultural watersheds. **Civil Engineering**, v. 10, n. 6, p. 362, 1940.

LANDIM NETO, F. O. et al. Zoneamento ambiental e funcional da bacia hidrográfica do rio Guaribas, São Gonçalo do Amarante / Ceará: subsídios para a gestão ambiental local. **Revista Eletrônica Georaguia**, v. 4, n. 2, p. 63 - 80. 2014.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. 1ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 424p. 2009.

LEAL, A. C. Planejamento ambiental de bacias hidrográficas como instrumento para o gerenciamento de recursos hídricos. **Revista Entre-lugar**, v. 6, n. 3, p. 65-84, 2012.

LÉMECHEV, T. On hydrological heterogeneity catchment morphology and catchment response. **Journal of Hydrology**, v.100, p.357- 375, 1982.

LIMA. W. P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ/USP. 1976. 143p.

LIMA, D. F. B. de; REMPEL, C.; ECKHARDT, R. R. Análise Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari. Proposta de zoneamento ambiental. **Geografia**, v. 16, n. 1, p. 51-78, 2007.

LIMA, D. F. B. de; REMPEL, C.; ECKHARDT, R. R. Análise Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari. Proposta de zoneamento ambiental. **Geografia** - v. 16, n. 1, p. 51-78, 2007.

LOPES, E. R. N.; LOURENÇO, R. W. REUSS-STRENZEL, G. M. Análise multicriterial aplicada a elaboração de zoneamento de unidade de conservação na zona costeira da Bahia, Brasil. **Raega**, v. 37, p. 65-90, 2016.

LOPES, J. L. S.; CESTARO, L. A.; KELTING, F. M. S. Zoneamento ambiental como instrumento de uso da terra do município de Aquiraz-CE. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 32, n. 1, p. 93-104, 2012.

MAGESH, N. S. et al. Geographical information system-based morphometric analysis of Bharathapuzha river basin, Kerala, India. **Applied Water Sciences**, v. 3, p. 467–477, 2013.

MARTINS, F. B. et al. Zoneamento ambiental da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS) (Estudo de caso). **Cerne**, v. 11, n. 3, p. 315-322, 2005.

MCGARIGAL, K. **FRAGSTATS**: Spatial pattern analysis program for categorical maps: user manual. 182p. 2015.

MEI, A. et al. Assessment of land cover changes in Lampedusa Island (Italy) using Landsat TM and OLI data. **Journal of African Earth Sciences**, 2015.

MELO, J. A. B.; LIMA, E. R. V. Uso da terra, vulnerabilidade e subsídios ao ordenamento territorial em microbacia. **Mercator**, v. 11, n. 24, p. 127-148, 2012.

MENEGUZZO, I. S.; ALBUQUERQUE, E. S. A política ambiental para a região dos campos gerais do Paraná. **Raega**, Curitiba, n. 18, p. 51-58, 2009.

MENESES, P. R. Princípios de sensoriamento remoto. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Orgs.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UnB/CNPq, 2012. 266p.

MICROSOFT. **Microsoft Office Excel**. 2010.

MILLIKAN, B.; DEL PRETTE, M. E. Documento base para discussão sobre metodologia de Zoneamento Ecológico-Econômico na Amazônia. In: Seminário de Avaliação da metodologia do Zoneamento Ecológico-Econômico para a Amazônia Legal. **Programa Piloto de Proteção das Florestas Tropicais Brasileiras**. Manaus, AM, 2000.

MOGHADDAM, D. D. et al. Groundwater spring potential mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan Watershed, Iran. **Arabian Journal Geosciences**, v. 8, p. 913–929, 2015.

MOGHADDAM, D. D. et al. Groundwater spring potential mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan Watershed, Iran. **Arabian Journal Geosciences**, v. 8, p. 913–929, 2015.

MORISAWA, M. 1975. Tectonics and geomorphic models. In: MELHORN, W. N.; FLEMAL, R. C.(edits.). **Theories of landform development**. London: G. Allen & Unwin, 1975. p.199- 216.

MORISAWA, M. 1975. Tectonics and geomorphic models. In: MELHORN, W. N.; FLEMAL, R. C.(edits.). **Theories of landform development**. London: G. Allen & Unwin, 1975. p.199- 216

MOURA, M. C. F.; OLIVEIRA, L. C. S. Atividade agrícola: produção, impacto e sustentabilidade. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v. 4, n.1, p. 6 -14 , 2013.

MUCHAILH, M. C. et al. Metodologia de planejamento de paisagens fragmentadas visando a formação de corredores ecológicos. **Revista Floresta**, v. 40, n. 1, p. 147-162, 2010.

NARDIN, D. Zoneamento geoambiental no oeste do Rio Grande do Sul: um estudo em bacias hidrográficas. 230f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Geociências. 2009.

NOBRE, M. F. **O zoneamento ecológico-econômico como instrumento de planejamento e gestão ambiental**: uma proposta para a bacia hidrográfica do rio Corumbataí (SP). Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). – Universidade Estadual Paulista. 249f. 2008.

NARUMALANI, S.; HLADY, J. T.; JENSEN, J. R. Information extraction from remotely sensed data. In: Bossler, J D. **Manual of Geospatial Science and Technology**. 1ª Ed. Londres: Taylor & Francis, p. 298-324. 2002.

OHADI, S. Ecotourism Zoning In Protected Areas Using Gis. **Advances in Environmental Biology**, v. 7, n. 4, p.677-683, 2013.

OLIVEIRA, J. B. et al. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:500.000 Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. 1999.

OLIVEIRA, P. C. A.; RODRIGUES, S. C. Utilização de cenários ambientais como alternativa para o zoneamento de bacias hidrográficas: estudo da bacia hidrográfica do Córrego Guaribas, Uberlândia – MG. **Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 3, p. 305-314, 2009.

OLIVEIRA, P. T. S. **Zoneamento ambiental no planejamento e gestão de bacias hidrográficas**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. 79f. 2011.

OLIVEIRA, P. T. S.; ALVES SOBRINHO, T.; RODRIGUES, B.B.; PANACHUKI, E. Zoneamento ambiental aplicado à conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1723-1734, 2011.

ONU - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **Subsídios ao zoneamento da APA Gama-Cabeça de Veado e Reserva da Biosfera do Cerrado: caracterização e conflitos socioambientais**. Brasília: ONU, MAB, Reserva da Biosfera do Cerrado, 2003. 176p.

PADOVESI-FONSECA, C. Diagnóstico da sub-bacia do ribeirão Mestre d'Armas por meio de dois métodos de avaliação ambiental rápida, Distrito Federal, Brasil Central. **Revista Ambiente e Água**, v. 5, n. 1, p 43-56, 2010.

PANIZZA, A. C.; FONSECA, F. P. Técnicas de interpretação visual de imagens. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, n. 30, p. 30-43, 2011.

PEDROZA DA SILVA, S. C.; BAPTISTA, G. M. M. Análises espectrais da vegetação com dados hyperion e sua relação com a concentração e o fluxo de CO2 em diferentes ambientes na amazônia brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, n. 2, p. 354-370, 2015.

PEREIRA, J.R. et al. Gestão social dos territórios da cidadania: o Zoneamento ecológico-econômico como instrumento de gestão do território noroeste de Minas Gerais. **Caderno EBAPE.BR**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 3, 2011.

PIROVANI, D. B. et al. Análise espacial de fragmentos florestais na bacia do rio Itapemirim, ES. **Árvore**, v. 38, n. 2, p. 271-281, 2014.

POELKING, E.L.; LAUERMANN, A.; DALMOLIN, R.S.D. Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, Florianópolis, 2007. **Anais**. Florianópolis, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. p. 4145-4150, 2007.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

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

RAZANDI, Y. et al. Application of analytical hierarchy process, frequency ratio, and certainty factor models for groundwater potential mapping using GIS. **Earth Sciences Information**, v. 8, p. 867-883, 2015.

RAHMAN, A. F. et al. Modeling CO2 flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. In: **AVIRIS Workshop**. Proceedings... JPL/NASA, Pasadena, California, 2000.

RAHMAN, A. F. et al. Modeling spatially distributed ecosystem flux of boreal forest using hyperspectral indices from AVIRIS imagery. **Journal of Geophysical Research**, v. 106, n. D24, p. 33579-33591, 2001.

R Foundation for Statistical Computing. **R: A language and environment for statistical computing**. R Development Core Team, Vienna, Austria. 2011.

RANIERI, V. E. L. et al. Zoneamento Ambiental como instrumento de política e gestão ambiental. In: ESPÍNDOLA, E. L. G.; WENDLAND, E.. (Orgs.). PPG-SEA: **Trajetórias e perspectivas de um curso multidisciplinar**. São Carlos: Rima, 2005. v.4, p.109-136.

RAZANDI, Y. et al. Application of analytical hierarchy process, frequency ratio, and certainty factor models for groundwater potential mapping using GIS. **Earth Sciences Information**, v. 8, p. 867-883, 2015.

REMPEL, C. et al. Zoneamento ecológico-econômico - ZEE - para sistemas orgânicos de produção agropecuária. **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 16, n. 2, p. 90-97, 2012.

ROCHA, J. S. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. Santa Maria: Edições UFSM, 1997. 181p.

RODRIGUES, C. A. G.; HOTT, M. C. Dinâmica da vegetação natural no nordeste do estado de São Paulo, entre 1988 e 2003. **Árvore**, v.34, n.5, p.881-887, 2010.

RODRIGUES, L. C. et al. Avaliação do grau de transformação antrópica da paisagem da bacia do rio Queima-Pé, Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 32, p. 52-64, 2014.

ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications**. Wiley, New York, 2009.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: FRADEN, S. C.; MARCANTI, E. P.; BECKER, M. A. **Earth Resources Tecnology Satellite- 1 Symposium**. Washington: NASA, 1974. 309-317p.

SABATINI, M.C. et al. quantitative method for zoning of protected areas and its spatial ecological implications. **Journal of Environment Management**, Filadelfia, v. 83, n. 2, p.198–206, 2007.

SAMPAIO, M. V. Zoneamento ambiental da sub-bacia hidrográfica do Rio Ibicuí-Mirim, RS. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v. 4, n. 2, p. 25-28, 2010.

SANCHEZ, G. M. et al. Development of a socio-ecological environmental justice model for watershed-based management. **Journal of Hydrology**, v. 518, p.162–177, 2015.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de textos, 2004. 184 p.

SANTOS JÚNIOR, E. (Org.). **Bacia Hidrográfica: Desafios da gestão de recursos hídricos e do saneamento básico no município de Cuiabá - MT**. Cuiabá: UFMG, 2011. 127p.

SANTOS, A. R. (Org.) **ArcGIS 9.3® total: Aplicações para dados espaciais**. Alegre, ES: CAUFES, 2010. 184p.

SANTOS, M. R. R.; RANIERI, V. E. L. Critérios para análise do zoneamento ambiental como instrumento de planejamento e ordenamento territorial. **Ambiente e Sociedade**, v. 16, n. 4, p. 43-62, 2013.

SÃO PAULO. **Lei nº 7.663 de 30 de dezembro de 1991**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. São Paulo, 1991.

\_\_\_\_\_. **Lei n. 9.509 de 20 de março de 1997**. Dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. São Paulo, SP. 1997.

\_\_\_\_\_. **Lei Estadual nº 12.300 de 16 de março de 2006**. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. São Paulo, 2006.

\_\_\_\_\_. SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS. **Plano Regional Integrado de Saneamento Básico**. 2011. 209p.

SEABRA, V. S. et al. Mapeamento do uso e cobertura do solo da bacia do rio Taperoá: região semiárida do estado da Paraíba. **Caminhos de Geografia**, v. 15, n. 50, p. 127–137, 2014.

SILVA NETO, J. C. A. Zoneamento ambiental como subsídio para o ordenamento do território da bacia hidrográfica do rio Salobra, Serra da Bodoquena – MS. **Raega**, v.31, p.119-142, 2014.

SILVA, J. S. V.; SANTOS, R. F. Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 21, n. 2, p. 221-263, 2004.

SILVA, S. F. Zoneamento geoambiental com auxílio de lógica fuzzy e proposta de um geoindicador para caracterização do meio físico da bacia do rio do Peixe. **Tese (Doutorado em Geotecnia)**. – Universidade de São Paulo. 441f. 2005.

SILVA, C. L.; ANDERSEN, S.; KASSMAYER, K. Avaliação comparativa de três políticas ambientais no estado do Paraná: o ZEE, o GERCO e políticas de incentivo à agroecologia. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, n. 122, p. 95-122, 2012.

SILVA, H.; BARBIERI, A. F.; MONTE-MOR, R. L. Demografia do consumo urbano: um estudo sobre a geração de resíduos sólidos domiciliares no município de Belo Horizonte. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 29, n. 2, p. 421-449, 2012.

SILVA, J. M. O. **Análise integrada na bacia hidrográfica do Rio Pirangi - CE: subsídios para o planejamento ambiental**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, 271f. 2012.

SILVA, V. A. Soil maps, field knowledge, forest inventory and ecological-economic zoning as a basis for agricultural suitability of lands in Minas Gerais elaborated in GIS. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 6, p. 538-549, 2013.

SOBRINO, J. A.; RAISSOUNI, N. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to Marocco. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, p. 353–363, 2000.

SOUZA, C. M. P.; FONTES, E. O.; MOREAUS, A. M. S. S. Zoneamento geoambiental e transformações da paisagem dos municípios Porto Seguro e Santa Cruz Cabrália-BA. **Revista de Geografia Acadêmica**, v. 5, n. 2, p. 41-53, 2011.

STEINBERGER, M.; ROMERO, M. B. Reflexões preliminares sobre as dimensões demográficas urbanas do zoneamento ecológico-econômico. In: **Encontro Nacional da ABEP**, 12, Caxambu, Anais ..., ABEP: Caxambu, 2000.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p.913–920, 1957.

SALES, J. C. A. Metodologia para identificação de áreas de risco e prioritárias para conservação da avifauna na bacia hidrográfica do rio Una, Ibiúna/SP. 112f. **Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)** Universidade Estadual Paulista - Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, 2015.

THE MATHWORKS. **Fuzzy Logic Toolbox™ User's Guide**. ©Copyright 1995–2014 by The MathWorks Inc. 2014.

THOMAS, B. L. Proposta de zoneamento ambiental para o município de Arroio do Meio – RS. **Raega**, v. 24, p. 199-226, 2012.

TONELLO, K. C. et al. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões - MG. **Árvore**, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

TUCCI, C. E. M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. 943p.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão dos recursos hídricos. **Revista USP**, n. 70, p. 24-35, p. 25-35, 2006.

VALE, R. C. M.; LOBAO, J. S. B; ROCHA, W. J. S. F.; NOLASCO, M. S. Contribuições das geotecnologias ao zoneamento ambiental do setor sul do Parque Nacional Chapada Diamantina / BA. **Raega**, n. 16, p.149-165, 2008.

VALENTE, R.O.A.; VETTORAZZI, C.A. Análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Corumbataí. **Scientia Florestalis**, n.62, p. 114-119. 2002.

VALERI, S. V.; POLITANO, W. (Eds.). **Manejo e recuperação florestal**. Jaboticabal: Funep, 2003. 180p.

VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C G. **Topodata: processamento dos dados SRTM**. São José dos Campos: INPE, 2010. 79p.

VASCONCELOS, V. V.; HADAD, R. M. MARTINS JUNIOR, P. P. Methodologies for integrated studies of natural resources: a discussion on ecological-economic zoning. **Pesquisas em Geociências**, v. 40, n. 1, p. 21-30, 2013.

VEDOVATO, M. A.; LOURENÇO, R. W.; DONALISIO, M. R. Análise espacial da mortalidade infantil e suas relações socioambientais na área urbana de Rio Claro, SP, BR. **Sociedade e Natureza**, ano 23, n. 3, p. 435-452, 2011.

VEIGA, J. E. Desenvolvimento territorial: do Entulho varguista ao zoneamento ecológico-econômico. **Bahia Análise e Dados**. Salvador: Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia, 2001.

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

YATES, L. K.; SCHOEMAN, D.; KLEIN, C. J. Ocean zoning for conservation, fisheries and marine renewable energy: Assessing trade-offs and co-location opportunities. **Journal of Environmental Management**, v. 152, p. 201-209, 2015.

WULDER, M. A. et al. Forest fragmentation, structure, and age characteristics as a legacy of forest management. **Forest Ecology and Management**, v. 258, 1938–1949, 2009.

ZHANG, Z. et al. Integrating a participatory process with a GIS-based multi-criteria decision analysis for protected area zoning in China. **Journal for Nature Conservation**, v. 21, p. 225 – 240, 2013.

ZANZARINI, F. V. et al. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 608–614, 2013.