

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E  
METEOROLOGIA**

**AVALIAÇÃO DOS RISCOS POTENCIAIS À QUALIDADE DAS ÁGUAS  
SUPERFICIAIS DA BACIA DO ARROIO SAPUCAIA UTILIZANDO TÉCNICAS  
INTEGRADAS DE SIG E SENSORIAMENTO REMOTO**

MARISTELA DOS SANTOS COUTO

ENG<sup>a</sup>. CIVIL

**ORIENTADOR:** PROF. DR. RONALDO DOS SANTOS DA ROCHA

**COLABORADOR:** PROF. MSc HEINRICH HASENACK

GEOPROCESSAMENTO

PORTO ALEGRE

OUTUBRO DE 2005

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade de aperfeiçoamento profissional e crescimento pessoal proporcionado pelo Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto.

Aos professores do CEPSRM, pelo conhecimento compartilhado, em especial a Prof<sup>a</sup>. Silvia Rolim por ter cedido a imagem utilizada na elaboração da dissertação, e aos demais membros da banca.

Ao Prof. Heinrich Hasenack o meu especial agradecimento pela orientação, compreensão, tempo e atenção dispensados ao longo de todo o trabalho.

À CORSAN pela possibilidade de freqüentar as aulas desse programa de pós-graduação, bem como a todos os colegas do PROGEO – Programa de Geoinformações da CORSAN pelo apoio recebido.

Ao Programa PRÓ-GUAÍBA por ter cedido a base cartográfica digital de fundamental importância para a elaboração dessa dissertação, e pessoalmente à Sr<sup>a</sup>. Iria Garaffa pela atenção dispensada no pronto atendimento de minha solicitação.

À METROPLAN pelo material cedido referente ao Programa para Recuperação de Áreas Degradadas – Sub-bacia do Arroio Sapucaia, de modo especial a Bibliotecária Leda Koch pelo interesse e presteza no atendimento.

À REFAP pela oportunidade de participar do Fórum do Arroio Sapucaia e conhecer um pouco mais da realidade e dos problemas da região, de maneira especial ao Eng. Paulo Azevedo pela atenção dispensada.

A minha família pela confiança, solidariedade e compreensão sem os quais nada seria possível. Ao meu marido, Odir Fernando, pelo apoio incondicional em todas etapas do desenvolvimento deste trabalho, pelas sugestões, críticas e contribuições e, sobretudo, pelas palavras de incentivo.

Aos meus amigos pelo apoio e pelo carinho.

## SINOPSE

Este trabalho propõe avaliar os riscos potenciais à qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, considerando os aspectos físicos, o uso do solo, o desenvolvimento humano e os problemas sanitários. A bacia possui uma área de 131 km<sup>2</sup>, suas nascentes localizam-se na zona rural dos municípios de Gravataí e Novo Hamburgo e sua foz junto rio dos Sinos. O arroio Sapucaia percorre, em seu baixo curso, uma área densamente urbanizada junto aos municípios de Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul onde encontra-se a maior parte da população da bacia.

Os materiais utilizados foram as cartas 1:50.000 da Cartografia Sistemática Brasileira, folhas de São Leopoldo e Gravataí, uma imagem do sensor ASTER (plataforma EOS/TERRA) 14 bandas, utilizadas 1, 2 e 3N e os dados do censo demográfico 2000 (IBGE). Os aspectos físicos e o uso do solo foram avaliados em toda a área da bacia tomando por base os índices físicos, especialmente o Ir (Índice de Rugosidade), e a classificação da imagem. As condições de desenvolvimento humano e os problemas sanitários foram avaliados nos municípios de Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul, através dos índices IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) e ISA (Índice de Saneamento Ambiental), respectivamente.

A aplicação do índice IDH apresentou resultados coerentes com o IDH-M para os três municípios. O índice ISA apresentou resultados relativamente homogêneos nas áreas centrais dos municípios com valores mais elevados, enquanto tornou evidentes os problemas sanitários em áreas periféricas como na região marginal ao arroio Sapucaia, na fronteira entre os municípios de Esteio e Canoas, onde foram obtidos os valores mais baixos. O índice Ir apresentou os valores mais elevados nas sub-bacias Itacolomi, Santa Tecla e Sapucaia Norte-2 junto às nascentes. Constatou-se também a predominância das áreas de ocupação irregular na região urbanizada da bacia e a influência dos fatores sócio-econômicos na ocupação destas áreas através dos índices IDH e ISA.

Esse método mostrou-se adequado para aplicação em bacias hidrográficas situadas em áreas urbanas, sem monitoramento contínuo e com carência de dados, demonstrando o potencial do uso integrado dos sistemas de informações geográficas e do sensoriamento remoto em avaliações de resposta rápida e baixo custo.

## ABSTRACT

This study aims to evaluate the potential risks to the quality of superficial waters of hidrographic basin of Sapucaia river, considering the physical aspects, the use of soil, the human development and the sanitary problems. Its basin is 131Km<sup>2</sup> and its head is located in the rural districts of the cities of Gravataí and Novo Hamburgo, and its mouth is placed at Sinos river. Sapucaia river runs, in its low course, along a densely urbanized area through the cities of Canoas, Esteio and Sapucaia do Sul, where most of the population of the basin is located.

The materials employed were the 1:50.000 charts, from Brazilian Systematic Cartography, São Leopoldo and Gravataí's pages, an ASTER image (EOS/TERRA platform) 14 bands, used 1, 2 and 3N and the 2000 demographic census (IBGE). The physical aspects and the use of soil were evaluated along the whole area of the basin taking the physical index as reference, especially RI (Rugosity Index) and image classification. The conditions of human development and the sanitary problems were evaluated in the cities of Canoas, Esteio and Sapucaia do sul, through HDI (Human Development Index) and ESI (Environmental Sanitation Index) respectively.

The application of HDI presented coherent results with IDH-M for the three cities. The ESI presented relatively homogeneous results in the central areas of the cities with higher values, while it made the sanitary problems evident in peripheral areas like in the marginal area to Sapucaia river, at the boundary of the cities of Esteio and Canoas, where the lowest results were obtained. The RI index presented the higher values at Itacolomi, Santa Tecla and Sapucaia Norte-2 sub-basins at the river-heads. It was also observed the predominance of irregular settling zones at the urbanized region of the basin and the influence of socio-economical factors in this region's settlings through the HDI and ESI indexes.

This method proved adequate for the application to the hidrographic basins situated in urban areas, lacking continuous monitoring and data, showing the potential of integrated use of geographic information systems and remote sensing for fast-response, low-cost evaluations.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	
LISTA DE FÓRMULAS	
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b> .....	01
<b>CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	04
2.1 O MEIO AMBIENTE E O HOMEM - A QUESTÃO AMBIENTAL .....	04
2.2 O CONCEITO DE RISCO .....	09
2.3 IMPACTOS DA AÇÃO ANTRÓPICA NO MEIO AMBIENTE E RISCOS ASSOCIADOS .....	13
2.4 BACIAS HIDROGRÁFICAS – CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE .....	18
2.5 O GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS COMO INSTRUMENTO DE RESPOSTA À CRISE .....	24
2.6 AS FERRAMENTAS DA INFORMAÇÃO ESPACIAL – GEOPROCESSAMENTO .....	29
2.6.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS .....	33
2.6.2 SENSORIAMENTO REMOTO .....	41
2.6.3 TÉCNICAS INTEGRADAS DE SIG E SENSORIAMENTO REMOTO .....	46
2.6.4 A IMPORTÂNCIA DO GEOPROCESSAMENTO NO ESTUDO DE RECURSOS HÍDRICOS ..	47
2.6.5 GEOPROCESSAMENTO APLICADO AOS RECURSOS HÍDRICOS .....	49
<b>CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	54
<b>CAPÍTULO 4 – MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	60
4.1 MATERIAIS .....	60
4.2 MÉTODOS .....	61
4.2.1 ETAPAS DE TRABALHO .....	67
4.2.1.1 PREPARAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA .....	69
4.2.1.2 PREPARAÇÃO DOS SETORES CENSITÁRIOS .....	73
4.2.1.3 ANÁLISE DA BACIA HIDROGRÁFICA .....	75
4.2.1.4 ELABORAÇÃO DOS ÍNDICES .....	75
4.2.1.5 MODELO NUMÉRICO DO TERRENO – MNT .....	81
4.2.1.6 GEORREFERENCIAMENTO DA IMAGEM .....	82
4.2.1.7 CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM .....	85

4.2.1.8 OPERAÇÕES DE ANÁLISE ESPACIAL .....	87
4.2.1.8.1 ESPACIALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE .....	88
4.2.1.8.2 ESPACIALIZAÇÃO DOS ÍNDICES IDH E ISA .....	88
4.2.1.8.3 ESPACIALIZAÇÃO DO ÍNDICE IR .....	90
4.2.1.8.4 USO DO SOLO .....	90
4.2.1.8.5 CRUZAMENTO DOS PLANOS DE INFORMAÇÃO .....	90
<b>CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>93</b>
5.1 ANÁLISE DA BACIA HIDROGRÁFICA .....	93
5.1.1 PADRÃO DE DRENAGEM .....	93
5.1.2 HIERARQUIA FLUVIAL .....	94
5.1.3 CARACTERÍSTICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA .....	95
5.1.4 ANÁLISE DA REDE HIDROGRÁFICA .....	98
5.2 CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA .....	102
5.3 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA .....	102
5.4 ESPACIALIZAÇÃO DOS RESULTADOS E COMENTÁRIOS .....	103
5.4.1 ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO – IDH .....	103
5.4.2 ÍNDICE DE SANEAMENTO AMBIENTAL – ISA .....	112
5.4.3 ÁREAS DE CONFLITO DE USO .....	120
5.4.4 AVALIAÇÃO DO USO DO SOLO EM RELAÇÃO AO ÍNDICE DE RUGOSIDADE .....	122
5.4.5 AVALIAÇÃO DA OCUPAÇÃO URBANA EM FUNÇÃO DA DECLIVIDADE .....	125
5.4.6 VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA VARIÁVEL SÓCIO-AMBIENTAL SOBRE ÁREAS DE CONFLITO DE USO .....	127
5.4.7 ÁREAS DE RISCO POTENCIAL .....	128
<b>CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO .....</b>	<b>129</b>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	133

## LISTA DE TABELAS

TAB. 2.1: Taxa de urbanização no Brasil .....	16
TAB. 2.2: Reservas de água do ciclo hidrológico global .....	25
TAB. 3.1: Níveis de desenvolvimento humano na bacia do arroio Sapucaia .....	59
TAB. 4.1: Distribuição da população na bacia do arroio Sapucaia – 1996 .....	64
TAB. 4.2: Layers do plano de informação altimetria .....	71
TAB. 4.3: Layers do plano de informação hidrografia .....	71
TAB. 4.4: Layers do plano de informação rede viária .....	72
TAB. 4.5: Layers do plano de informação urbano .....	72
TAB. 4.6: Características Técnicas Gerais do ASTER .....	83
TAB. 5.1: Ordenamento dos canais fluviais .....	94
TAB. 5.2: Sub-bacias da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia .....	97
TAB. 5.3: Índice de rugosidade calculado para as sub-bacias .....	98
TAB. 5.4: Análise da rede hidrográfica .....	101
TAB. 5.5: Resultado da classificação - uso do solo .....	103
TAB. 5.6: Uso do solo predominante por sub-bacia .....	122

## LISTA DE FIGURAS

FIG. 2.1: Efeitos da urbanização na quantidade e qualidade da água .....	16
FIG. 2.2: Padrões de drenagem .....	20
FIG. 2.3: Hierarquização segundo Horton (A) e Strahler (B) .....	22
FIG. 2.4: Arquitetura de Sistemas de Informações Geográficas .....	36
FIG. 2.5: Evolução da Tecnologia de SIG .....	41
FIG. 2.6: Espectro eletromagnético .....	43
FIG. 2.7: Curva espectral da vegetação, da água e do solo .....	44
FIG. 3.1: Localização da bacia do arroio Sapucaia .....	55
FIG. 3.2: Arroio Sapucaia próximo a nascente .....	56
FIG. 3.3: Relevo da região – planície e patamares .....	56
FIG. 3.4: Relevo da região – morro testemunho .....	56
FIG. 3.5: Arroio Sapucaia próximo à foz .....	56
FIG. 3.6 e 3.7: Parque industrial situado próximo à foz do arroio Sapucaia .....	58
FIG. 3.8 e 3.9: Aspectos da degradação sócio-ambiental .....	59
FIG. 4.1: Distribuição da população na bacia do arroio Sapucaia .....	64
FIG. 4.2: Fluxograma de desenvolvimento do trabalho .....	68
FIG. 4.3: Bacia hidrográfica do arroio Sapucaia e setores censitários .....	74
FIG. 4.4: Altimetria da área de estudo para a geração do MNT .....	82
FIG. 4.5: Bandas espectrais do sensor ASTER .....	83
FIG. 4.6: Pontos de controle para georreferenciamento .....	84
FIG. 5.1: Bacia hidrográfica do arroio Sapucaia .....	94
FIG. 5.2: Sub-bacias formadoras da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia .....	97
FIG. 5.3: Classificação não supervisionada .....	102
FIG. 5.4: Classificação supervisionada .....	102
FIG. 5.5: Número de habitantes por setor censitário .....	104
FIG. 5.6: IDH – Dimensão Educação .....	105
FIG. 5.7: IDH – Dimensão Longevidade .....	107
FIG. 5.8: IDH – Dimensão Renda .....	109
FIG. 5.9: IDH –Índice de Desenvolvimento Humano .....	111
FIG. 5.10: Número de domicílios particulares permanentes .....	112
FIG. 5.11: ISA - Abastecimento de Água .....	113

FIG. 5.12: ISA - Esgotamento Sanitário .....	115
FIG. 5.13: ISA – Coleta de Lixo .....	117
FIG. 5.14: ISA – Índice de Saneamento Ambiental .....	119
FIG. 5.15: Áreas de conflito de uso .....	121
FIG. 5.16: Uso e ocupação do solo .....	123
FIG. 5.17: Índice de rugosidade .....	124
FIG. 5.18: Áreas inadequadas à ocupação urbana relativas à declividade .....	126
FIG. 5.19: Influência do IDH sobre áreas de conflito de uso .....	127
Fig. 5.20: Influência do ISA sobre áreas de conflito de uso .....	128
FIG. 5.21: Áreas de risco potencial .....	129

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ASTER	Advanced Spacebone Thermal Emission and Reflection Radiometer
ALL	América Latina Logística
CEBERS	Chine-Brazil Earth Resources Satellite
CCD	Charge Coupled Device
CERES	Clouds and the Earth's Radiant Energy System
DN	Digital number
DSG	Diretoria do Serviço Geográfico
DWG	AutoCad Drawing
DXF	AutoCad Drawing Interchange
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do estado do Rio de Janeiro
FM	Fator de minoração
FPI	Fator de população idosa
GEF	Fundo para o Meio Ambiente Mundial
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
Hm	Amplitude altimétrica máxima
IAA	Índice de Abastecimento de Água
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICL	Índice de Coleta de Lixo
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDH-M	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IDH-E	Índice de Desenvolvimento Humano – dimensão educação
IDH-L	Índice de Desenvolvimento Humano – dimensão longevidade
IDH-R	Índice de Desenvolvimento Humano – dimensão renda
IES	Índice de Esgotamento Sanitário
ISA	Índice de Saneamento Ambiental
Ir	Índice de Rugosidade
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MCE	Multi Criteria Evaluation

METROPLAN	Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional
MISR	Multi-angle Imaging SpectroRadiometer
MNT	Modelo Numérico do Terreno
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MOPITT	Measurements of Pollution in the Troposphere
MSS	Multispectral Scanner
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
ONU	Organização das Nações Unidas
PI	Plano de Informação
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PPC	Paridade do Poder de Compra
REFAP	Refinaria Alberto Pasqualini
RMPA	Região Metropolitana de Porto Alegre
RST	Rotate/Strech/Translate
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SPOT	Satellite Pour L'Observation de la Terre
SRA	Society for Risk Analysis
TIROS	Television and Infrared Observation Satellite-N
UTM	Universal Transversa de Mercator
VLX	Vector Link File
WFI	Wide Field Imager

## LISTA DE FÓRMULAS

4.1	Índice de desenvolvimento humano adaptado .....	77
4.2	Índice de desenvolvimento humano – dimensão educação .....	77
4.3	Índice de desenvolvimento humano – dimensão longevidade .....	77
4.4	Índice de desenvolvimento humano – dimensão renda .....	78
4.5	Índice de saneamento ambiental .....	79
4.6	Índice de abastecimento de água .....	79
4.7	Índice de esgotamento sanitário .....	80
4.8	Índice de coleta de lixo .....	80
4.9	Índice de rugosidade .....	81
4.10	Média .....	89
4.11	Desvio-padrão .....	89
4.12	Discrepância .....	89
5.1	Densidade de drenagem .....	95
5.2	Relação de bifurcação .....	98
5.3	Comprimento médio dos canais de determinada ordem .....	99
5.4	Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem .....	99
5.5	Relação entre o índice de comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação .....	100
5.6	Extensão do percurso superficial .....	100
5.7	Relação do equivalente vetorial .....	101
5.8	Relação entre os gradientes dos canais .....	101

## 1. INTRODUÇÃO

A forma como o homem se apropria da natureza vem se modificando ao longo dos anos em decorrência da evolução dos hábitos e das técnicas. Os métodos de exploração dos recursos naturais e a ocupação dos espaços pelo homem decorrem, sobretudo, dos modos de produção que são incrementados à medida que se aprimora o aparato tecnológico de forma a otimizar a produção de bens destinados a atender as demandas da sociedade. Estes modos de produção têm se mostrado bastante perversos em relação ao meio ambiente, considerando-o uma fonte inesgotável de recursos e um repositório ideal para os rejeitos decorrentes da produção e da utilização dos bens pela sociedade.

A otimização dos processos produtivos gerou o aumento e a diversificação da oferta de bens e serviços à sociedade, estimulando o desenvolvimento de novos hábitos com padrões de consumo baseados no curto ciclo de vida dos produtos. A universalização dos modos de produção aumentou a área de circulação dos produtos e reduziu a área de produção modificando também as relações do homem com o espaço. Mas este novo padrão de consumo mostrou ter um alto custo do ponto de vista ambiental, tanto no que diz respeito a uma exploração mais intensiva dos recursos naturais quanto na produção e disposição dos resíduos.

Nos últimos anos, a aceleração nos processos de expansão urbana e dos parques industriais tem evidenciado a carência de ações de planejamento nas regiões próximas aos grandes centros que passaram a abrigar comunidades sem a necessária estrutura para garantir dignas condições de vida e bem estar do ponto de vista social e ambiental. O espaço urbano é caro e as parcelas da população de baixo poder aquisitivo, sem condições de arcar com os custos do uso desse espaço, passam a ocupar as áreas menos valorizadas no entorno das cidades, caracterizadas pela precariedade ou ausência total de equipamentos urbanos.

A desordenada expansão urbana e a multiplicação das áreas de ocupação irregular constituem atualmente grandes desafios para os órgãos de planejamento

municipal, pois a precariedade da infra-estrutura nestes locais resulta em graves problemas de ordem sanitária, tendo como consequência a degradação da qualidade ambiental e da qualidade de vida dessas comunidades bem como sua exposição a situações de risco, à poluição e à contaminação.

Esse modo de ocupação, aqui chamado de irregular, refere-se àquelas áreas impróprias para o estabelecimento de moradias: locais onde as declividades, o tipo de solo, as condições de drenagem, a proximidade de cursos d'água ou outros fatores de ordem física colocam os ocupantes em situação de risco; ou espaços destinados à preservação ambiental como reservas florestais ou áreas de manutenção da mata ciliar junto às margens dos arroios, áreas de nascentes, etc., neste trabalho denominadas de áreas de conflito de uso.

Neste contexto, cabe ressaltar a estreita relação existente entre questões sociais e ambientais, pois comunidades que vivem nestes locais sofrem as adversidades impostas pelas condições naturais ao tempo em que agregam ao ambiente fatores de degradação como o direcionamento inadequado de águas pluviais, a deposição de resíduos, o lançamento de esgotos e outros decorrentes da carência de infra-estrutura. A degradação ambiental nestes locais pode afetar a água e o solo, com relação ao solo, problemas de erosão podem ser agravados pela presença de edificações e pela falta de drenagem pluvial, com relação à água, além do lançamento direto de esgotos, os cursos d'água ainda recebem os resíduos depositados no solo arrastados pelas águas pluviais.

A degradação dos recursos hídricos causa desequilíbrio dos ecossistemas aquáticos, extinção de espécies vegetais e animais e proliferação de doenças, culminando em problemas de escassez de água que já atingem muitas regiões do planeta. A água constitui, ainda, um importante indicador de degradação do meio ambiente, daí a relevância dos estudos envolvendo recursos hídricos que nos últimos anos têm sido incrementados com novas técnicas, acrescentando ao antigo caráter corretivo desses estudos também aspectos preditivos. Neste sentido, os sistemas de informações geográficas (SIG) e o sensoriamento remoto muito têm contribuído, os primeiros permitindo a utilização de dados de diferentes origens que combinados resultam em valiosos instrumentos de análise e o segundo adquirindo informações de áreas extensas com segurança e maior rapidez, reduzindo consideravelmente os trabalhos em campo, ambos com custos aceitáveis em termos de retorno em benefícios para a sociedade.

A área objeto desse trabalho é a bacia hidrográfica do arroio Sapucaia que abrange os municípios de Canoas, Esteio, Sapucaia do Sul, Cachoeirinha, Gravataí e Novo Hamburgo totalizando 131 km<sup>2</sup>. O arroio Sapucaia é uma dos mais importantes afluentes do curso inferior do rio dos Sinos e grande parte de sua área de contribuição encontra-se em zona densamente urbanizada. Suas águas são utilizadas basicamente para irrigação e lançamento de efluentes de origem industrial e esgotos pluvial e cloacal. Esta região pode ser caracterizada por um intenso processo de industrialização e urbanização que se reflete hoje numa deterioração da qualidade de vida e inúmeros problemas ambientais.

O objetivo deste trabalho é avaliar através do emprego das tecnologias de SIG e sensoriamento remoto, os riscos potenciais à qualidade das águas superficiais da bacia. As análises tomam por base informações extraídas da cartografia, dados censitários e imagens orbitais. Esta forma de análise, de caráter indireto, justifica-se pela carência de dados comum às pequenas bacias hidrográficas situadas em áreas urbanas, de modo especial aquelas onde não há tomada de água para abastecimento público e, por isso, sem exigências legais de monitoramento contínuo.

A avaliação proposta consiste dos seguintes itens:

- a) Aplicação do índice de rugosidade (Ir) como indicador de potencial erosivo, relacionando-o com o uso do solo;
- b) Aplicação dos índices IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) e ISA (Índice de Saneamento Ambiental) como indicadores de risco sócio-ambiental;
- c) Identificação das áreas de conflito de uso no âmbito da bacia, relacionando-as com os índices IDH e ISA;
- d) Análise da ocupação urbana em função da declividade;
- e) Mapeamento das áreas representativas de risco potencial segundo os critérios adotados.

Desta forma, pretende-se demonstrar a viabilidade e as possibilidades da utilização das técnicas de geoprocessamento em estudos ambientais no sentido de proporcionar, através das ferramentas de análise espacial, resultados confiáveis, mais rápidos e a menores custos.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 O MEIO AMBIENTE E O HOMEM - A QUESTÃO AMBIENTAL

O termo “meio ambiente” pode ser definido segundo duas abordagens distintas: uma considerando o homem como um agente de mudanças no meio ambiente, não sendo ele próprio parte do meio, e outra que o considera como parte integrante do meio ambiente interagindo com todos os seus elementos.

Algumas definições de “meio ambiente” trazem implícita a exclusão do homem como a do ecólogo Duvigneaud (1984), *apud* Reigota (1997), que afirma “*é evidente que o meio ambiente se compõe de dois aspectos: a) meio ambiente abiótico físico e químico, e b) o meio ambiente biótico*”, outras definições consideram fortemente o elemento antrópico e tecnológico como a de Coimbra (1985): “*o conjunto de elementos físico-químicos, ecossistemas naturais e sociais em que se insere o homem, individual e socialmente, num processo de interação que atenda ao desenvolvimento das atividades humanas, à preservação dos recursos naturais e das características essenciais do entorno, dentro de padrões de qualidade definidos*”.

Pode-se ainda definir meio ambiente como “*A soma das condições externas e influências que afetam a vida, o desenvolvimento e, em última análise, a sobrevivência de um organismo*” (The World Bank, 1978) ou “*O conjunto do sistema externo físico e biológico, no qual vivem o homem e os outros organismos*” (PNUMA, 1978).

O dicionário francês de ecologia Touffet (1982) define meio ambiente como “*conjunto de fatores bióticos (os seres vivos) ou abióticos (físico-químicos) do habitat suscetíveis de terem efeitos diretos ou indiretos sobre os seres vivos e, compreende-se, sobre o homem*”, considerando o homem como parte do meio com o qual interage.

Christofoletti (1999) afirma que no contexto da problemática ambiental é necessária a utilização de conceitos definidos de modo preciso que permitam operacionalização através de procedimentos analíticos e critérios de avaliação. Assim

considera que existem duas perspectivas a serem seguidas para conceituar o termo ambiente: a primeira com significância biológica e social, focalizando o contexto e as circunstâncias que envolvem o ser vivo; a segunda considerando a funcionalidade interativa da geosfera-biosfera, focalizando a existência de unidades de organização abrangendo elementos físicos e bióticos que compõem o meio ambiente no globo terrestre. Em ambos os casos prevalece a relevância da presença do homem porque as organizações espaciais constituem o meio ambiente para a sobrevivência e desenvolvimento das sociedades humanas.

Ainda, segundo Christofolletti no chamado universo sistêmico:

*“o meio ambiente é constituído pelos sistemas que interferem e condicionam as atividades sociais e econômicas, isto é, pelas organizações espaciais dos elementos físicos e biogeográficos (da natureza). Os sistemas ambientais são os responsáveis pelo fornecimento de materiais e energia aos sistemas sócio-econômicos e deles recebem os seus produtos (edificações, insumos, emissões, dejetos, etc.)”.*(Christofolletti, 1999, p. 37)

A Lei Nº 6.938/81, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente define meio ambiente como *“o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”*, trata-se de uma definição ampla que abrange as comunidades, os ecossistemas e a biosfera, considerando as influências e interações entre os seres vivos, ou seja, o meio ambiente como um sistema do qual todos fazem parte. Milaré (1993) considera que o mérito desta lei foi o de trazer para o mundo do direito o conceito normativo de meio ambiente bem como os conceitos de degradação da qualidade ambiental, poluição, poluidor e recursos ambientais.

A Constituição Federal de 1988 não atribui unicamente ao Estado o poder e o dever de defender o ambiente, mas também aos cidadãos e dispõe em seu Artigo 225:

*“Todos tem direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público o dever de defendê-lo e à coletividade o de preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.*

Em nível mundial as relações homem/natureza sofreram uma modificação em seus conceitos a partir das décadas de 1960 e 1970, o homem passou a ver-se não

apenas como agente explorador da natureza, mas também como responsável pela sua preservação, ganhou a consciência da esgotabilidade dos recursos e as questões ambientais, nos últimos anos, passaram a ser pauta de importantes encontros internacionais.

A questão ambiental ganhou relevância após a Segunda Guerra Mundial e gerou importantes mudanças na visão do homem sobre o mundo, ele passou a perceber que os recursos naturais poderiam se esgotar com o uso indiscriminado e que isso representaria o fim de sua própria existência na Terra. Essa consciência ambiental provocou alguns questionamentos a respeito da ciência e da tecnologia que se desenvolviam movidas pela necessidade de crescimento industrial.

Em 1972, o Clube de Roma, um grupo de intelectuais europeus apoiados por industriais e banqueiros, publicou o relatório intitulado “Os Limites do Crescimento” o qual enfatizava que a produção industrial e a exploração dos recursos naturais precisariam ser revistas ou até estagnadas. Este grupo defendia um gerenciamento global da demografia e da economia a fim de evitar o suposto colapso do sistema. Pode-se considerar este o início de considerações a cerca das limitações ambientais. Sua proposta baseava-se na teoria do “Crescimento Zero”, isto é, somente se a população e a indústria parassem de crescer seria possível assegurar a continuidade da vida e da atividade econômica. Contudo, considerando a desigualdade entre os países dos hemisférios norte e sul, onde os países do norte com menor população absorviam a maior parte da riqueza produzida e os do sul sofriam com a escassez de recursos de toda a ordem, uma proposta sugerindo o não crescimento dos países pobres não poderia ser aceita por esses países pois perpetuava a situação de desigualdade vigente.

A conferência mundial sobre o meio ambiente humano, realizada na Suécia em 1972, marca a entrada definitiva da questão ambiental nas negociações internacionais. Surge, neste mesmo ano, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, PNUMA, agência responsável por catalisar ações nacionais e internacionais para a proteção do meio ambiente, e aumentar a qualidade de vida dos povos sem comprometimento das gerações futuras.

Em 1985 a Assembléia Geral das Nações Unidas atribuiu ao PNUMA a tarefa de delinear estratégias ambientais para a o ano 2000 e além. Esse programa

estabeleceu então a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento que publicou em 1987 o relatório intitulado “Nosso Futuro Comum” também conhecido como Relatório Brundtland, onde surge a expressão “desenvolvimento sustentável”, um conceito que implica em aproveitamento racional dos recursos naturais de forma a não comprometer as gerações futuras. Isto marcaria a inclusão de considerações de ordem ambiental nos processos de tomada de decisões.

A década de 1990 marca o início das discussões sobre os problemas de mudança climática, a atmosfera ganha o estatuto de “preocupação comum da humanidade” e iniciam os acordos internacionais no sentido de regular as atividades tidas como poluidoras da atmosfera, de modo especial as emissões de gases que causam o efeito estufa. O parâmetro fundamental desses acordos foi a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática assinada no Rio de Janeiro em 1992 e o Protocolo de Kyoto, assinado no Japão em 1997.

A conferência de 1992 no Brasil intitulada Meio Ambiente e Desenvolvimento produziu importantes documentos tais como a Carta da Terra e a Agenda 21 além de tratados e acordos internacionais relacionados às alterações climáticas e à proteção da biodiversidade. A Agenda 21 pode ser considerada o documento de maior abrangência e de maior alcance com relação à questão ambiental, pois restabelece o enfoque do meio ambiente em relação ao desenvolvimento e é utilizada na discussão de políticas públicas. Esse documento propõe a participação da sociedade no diagnóstico dos problemas e nas formas de resolvê-los e sugere a criação de agendas locais a partir da Agenda 21 global, pois reconhece que um plano global só poderia ter êxito se houvesse o envolvimento das comunidades locais.

O Protocolo de Kyoto é um tratado internacional com o objetivo de reduzir o aquecimento global através do comprometimento dos países em diminuir as emissões de gases, foi aberto para assinaturas em 1998, ratificado em 1999 e oficialmente entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005. Contudo, a posição de alguns países desenvolvidos e com altas taxas de emissões, destacando-se os Estados Unidos, mostrou-se contrária ao estabelecimento de metas para a redução das emissões, sugerindo que fossem implementados mecanismos complementares, como o de cotas comercializáveis de emissão de carbono, e firmados compromissos de redução da taxa de emissões também por países emergentes. As negociações continuam e a expectativa

é de que os maiores emissores reconheçam a sua parcela de responsabilidade na questão do aquecimento global e firmem o compromisso de reduzir suas emissões.

Entre agosto e setembro de 2002, na cidade sul-africana de Joanesburgo realizou-se a Conferência Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável chamada de Rio+10 cujo objetivo era de garantir o cumprimento dos compromissos internacionais necessários à implementação da Agenda 21. As negociações ocorreram em torno de cinco eixos principais: água e saneamento, agricultura, energia, saúde e biodiversidade, e, apesar de ter sido considerada uma decepção para alguns ambientalistas, alcançou importantes resultados como a injeção de recursos para o Fundo para o Meio Ambiente Mundial (GEF) e a criação do Fundo Internacional de Solidariedade para apoiar o desenvolvimento social e humano e a erradicação da pobreza nos países em desenvolvimento

No Brasil, segundo Viola (1987), o surgimento dos movimentos ecológicos foi fruto da crise ecológica desencadeada pelo acelerado processo de crescimento econômico das últimas quatro décadas. Segundo Cunha e Coelho (2003) é possível identificar três grandes momentos na história da políticas ambientais no Brasil: a) um primeiro período, de 1930 a 1971, marcado pela construção de uma base de regulação dos usos dos recursos naturais, b) um segundo período, de 1972 a 1987, em que a ação intervencionista do Estado chega ao ápice, ao mesmo tempo em que aumenta a percepção de uma crise ecológica global, e c) um terceiro período, de 1988 aos dias atuais, marcado pelos processos de democratização e descentralização decisórias e pela rápida disseminação da noção de desenvolvimento sustentável. Pode-se destacar na década de 1980 a criação das secretarias estaduais do meio ambiente e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA vinculado ao Ministério do Meio Ambiente, através da Lei 7.735/89, de 22 de fevereiro de 1989.

Um aspecto importante a considerar é a estreita relação da questão ambiental com a justiça social no Brasil, neste sentido Carlos Minc faz a seguinte afirmação:

*“Nosso país só terá um desenvolvimento ecologicamente viável numa sociedade profundamente democrática, em que a população tenha de fato o poder sobre a organização da economia e do uso do espaço e também o poder de inventar novos direitos que ampliem seus espaços de autonomia e de liberdade”.* (Minc, 1987, p. 138).

## 2.2 O CONCEITO DE RISCO

A importância de conhecer e avaliar os riscos ambientais está na possibilidade de interromper ou redirecionar processos dos quais podem resultar, a curto ou longo prazo, a degradação do meio ambiente. O termo risco, quando relacionado ao meio ambiente, apresenta uma estreita relação com os conceitos de qualidade ambiental e dano ambiental, tendo em vista que o decréscimo da qualidade ambiental resulta de um ou mais danos ambientais, relacionados ou não, e que através da avaliação do risco geralmente é possível adotar medidas no sentido de evitar a ocorrência desses danos ou minimizar seus efeitos.

O conceito de qualidade ambiental toma por base aspectos objetivos como fatores físicos, químicos e biológicos, que podem ser analisados e quantificados, e aspectos subjetivos como a percepção que o indivíduo tem do meio em que vive. Segundo Macedo:

*“A qualidade ambiental de um ecossistema expressa as condições e os requisitos básicos que ele detém, de maneira física, química, biológica, social, econômica, tecnológica e política (...) Em suma, a qualidade ambiental é o resultado da dinâmica dos mecanismos de adaptação e dos mecanismos de auto-superação dos ecossistemas”.* (Macedo, 1995, p. 17)

Valle (1995) aborda este conceito considerando a relação entre o meio ambiente e o processo produtivo de forma que o primeiro assegure, pelo seu equilíbrio, condições para a continuidade do segundo, ele fala a respeito da qualidade ambiental com relação a empresas:

*“A qualidade ambiental consiste no atendimento aos requisitos de natureza física, química, biológica, social, econômica e tecnológica que assegurem a estabilidade das relações ambientais no ecossistema no qual se inserem as atividades da empresa”.* (Valle, 1995, p. 16)

Neste sentido, a qualidade ambiental é considerada como parte da qualidade total almejada pelas empresas que pretendem manter-se competitivas em um mercado cada vez mais exigente, Valle (1995) afirma ainda que as empresas *“não podem prescindir da qualidade ambiental como parte de sua imagem”*, objetivando a obtenção de financiamentos no mercado internacional, o fornecimento a grupos internacionais e a liderança nos segmentos onde atuam.

A Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do estado do Rio de Janeiro - FEEMA descreve qualidade ambiental como:

*“resultado dos processos dinâmicos e interativos dos elementos do sistema ambiental, define-se como o estado do meio ambiente, numa determinada área ou região, conforme é percebido objetivamente, em função da medição da qualidade de alguns de seus componentes, ou mesmo subjetivamente, em relação a determinados atributos, como a beleza, o conforto, o bem-estar”* (FEEMA, 1990).

Percebe-se que esta definição, do ponto de vista do Estado, considera os aspectos objetivos mas contempla também aqueles frutos da percepção das pessoas do local onde vivem, ou seja, aqueles referentes à beleza, ao conforto e ao bem-estar, de caráter totalmente subjetivo. Este reconhecimento por parte do Estado da importância da percepção da sociedade com relação a meio ambiente torna-se fundamental na implementação de políticas de recuperação e proteção ambiental junto às comunidades.

A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente propõe como objetivo em seu Art. 4º, Inciso III: *“o estabelecimento de critérios e padrões da qualidade ambiental e de normas relativas ao uso e manejo de recursos ambientais”*. Percebe-se que o termo qualidade ambiental reveste-se de um caráter amplo e não tem um conceito definitivo, ou seja, depende de certos padrões que podem ser medidos ou definidos com base na percepção do meio ambiente a partir dos quais considera-se que existe o equilíbrio necessário à adequada manutenção da vida.

Seria pertinente também citar o conceito de qualidade de vida que apresenta uma forte ligação com o conceito de qualidade ambiental, Macedo define qualidade de vida como:

*“A qualidade de vida, para o modelo, expressa a qualidade ambiental específica ao fator ambiental HOMEM, estabelecendo os requisitos e as condições mínimas que um ecossistema deve oferecer, de natureza física, química, biológica, social, econômica, tecnológica, cultural e política, de modo que, na sociedade humana de que participa, possa realizar as relações ambientais que lhes são inerentes, com vistas à sua manutenção, evolução e auto-superação.”* (Macedo, 1995, p. 18)

Paralelamente aos conceitos de qualidade ambiental e qualidade de vida pode-se analisar o conceito de dano ambiental, que seria uma espécie de rompimento

das relações de equilíbrio no meio ambiente e suas conseqüências. Segundo Leite (2000), dano ambiental seria:

*“(…), em primeira acepção, uma alteração indesejável ao conjunto de elementos chamados de meio ambiente, como, por exemplo, a poluição atmosférica; seria assim a lesão ao direito fundamental que todos têm de gozar e aproveitar do meio ambiente apropriado. Contudo, em segunda conceituação, dano ambiental engloba os efeitos que esta modificação gera na saúde das pessoas e em seus interesses”. (Leite, 2000, p. 98)*

A FEEMA no seu Vocabulário Básico de Meio Ambiente (1990) assim define dano ambiental:

*“Considera-se dano ambiental qualquer lesão ao meio ambiente causado por ação de pessoa, seja ela física ou jurídica, de direito público ou privado. O dano pode resultar na degradação da qualidade ambiental (alteração adversa das características do meio ambiente), como na poluição, que a lei define como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividade humana”. (FEEMA, 1990)*

Desta forma, à luz dos conceitos de qualidade e dano ambiental pode-se considerar a questão do risco ambiental cuja identificação e análise permite a adoção de medidas de proteção ao meio ambiente e ao homem. A partir do conceito de risco ambiental e das metodologias a ele associadas os problemas ambientais podem ser discutidos utilizando-se uma linguagem comum e muitos deles podem ser medidos e comparados o que possibilita soluções mais eficientes a menores custos.

Entre as várias definições de risco, Kirchoff (2004) relata que risco pode ser entendido como a combinação de dois conceitos: probabilidade e conseqüência. Segundo ele pode-se decidir o quanto algo é arriscado respondendo a duas questões: qual a probabilidade do evento acontecer e quão ruim seria se o evento acontecesse. A *Society for Risk Analysis* (SRA), define risco como o potencial da realização de uma conseqüência adversa e indesejada à vida humana, saúde, propriedade, ou ao meio ambiente.

Allen *et al* (1992) definem risco como a probabilidade de eventos indesejados acontecerem em um período específico ou em circunstâncias específicas causadas pela realização de um perigo específico, podendo ser expresso como uma freqüência ou uma probabilidade, dependendo da circunstância. Kirchoff (2004)

esclarece a relação existente entre risco e perigo, conceituando perigo como algo que pode causar dano ou ferimento, algo que levaria ao risco e chamando de evento a conexão entre risco e perigo que seria uma situação em que alguém ou algo fica exposto ao perigo.

Kourislky e Viney (2000) definem perigo como aquilo que “*ameaça ou compromete a segurança, a existência, de uma pessoa ou de uma coisa*”, enquanto o risco é um “*perigo eventual mais ou menos previsível*”. Segundo Attanasio (2000) o risco potencial é o risco sobre o qual não se tem certeza, ao contrário do risco confirmado que é aquele do qual se tem conhecimento, por exemplo quando se conhece os riscos que determinada atividade pode causar ao meio ambiente, ou o risco do lançamento de determinados efluentes, ou o risco de determinados resíduos quando não dispostos adequadamente, etc..

Considerando que há sempre incerteza no risco e que o risco potencial ainda agrega o fato de não se ter dele o necessário conhecimento, pode-se caracterizar o risco potencial como uma situação que reúne várias condições necessárias mas nem sempre suficientes para configurar um risco confirmado, ou, efetivamente um dano ambiental. Pode-se dizer que o risco confirmado é previsível enquanto que o risco potencial não pode ser previsto. Neste sentido, o estudo dos riscos potenciais tem por objetivo um maior conhecimento da situação de risco e o dimensionamento do risco e suas implicações de forma que seja possível, através de medidas de precaução, evitar conseqüências danosas ao meio ambiente.

A avaliação de riscos é o processo que estima as características e a dimensão do risco fornecendo subsídios para o seu gerenciamento cujo objetivo é a implementação de ações no sentido de mitigar, reduzir ou eliminar os riscos considerados inaceitáveis. De acordo com a *National Research Council, apud Kirchhoff (2004)*, a avaliação de riscos e o gerenciamento de riscos têm funções distintas mas, em termos práticos, ambos precisam interagir. Do ponto de vista ambiental a avaliação de riscos constitui uma importante ferramenta no sentido de identificar pontos vulneráveis dos sistemas fornecendo informações para a elaboração de planos de proteção ao meio ambiente e adoção de medidas que visem à minimização dos efeitos nocivos associados aos riscos.

### 2.3 IMPACTOS DA AÇÃO ANTROPICA NO MEIO AMBIENTE E RISCOS ASSOCIADOS

A avaliação de riscos ao meio ambiente não constitui tarefa simples pois é necessário considerar os processos naturais com suas interações, mecanismos de causa e efeito, ações, reações e fatores relacionados. Pode-se, então, considerar o estado do ambiente como o resultado de um sistema em constante evolução, na verdade o resultado da combinação de uma série de variáveis que podem estar mais ou menos relacionadas tornando, por vezes, complexa a sua interpretação. Contudo, deve-se considerar que, paralelamente aos processos naturais, existe a ação do homem cujas intervenções vem ao longo dos anos causando importantes modificações no meio ambiente, tanto pela simples ocupação do espaço quanto pelo desenvolvimento dos modos de produção de bens.

Ocorre que a natureza busca, através de seus processos, retornar ao equilíbrio rompido pela ação humana, ao tempo em que o homem busca na natureza condições para o seu desenvolvimento com base em modelos de produção muito bem definidos e em constante evolução. Neste sentido, o objetivo da avaliação de riscos com relação ao meio ambiente seria o planejamento de ações de caráter preventivo e não apenas corretivo, na verdade seria agir antes do dano, no sentido de evitá-lo ou minimizar seus efeitos.

Os riscos ao meio ambiente podem estar relacionados ao ar, ao solo ou a água, e devido a natural interação entre estes três elementos muitas vezes os efeitos da degradação se propagam de forma a tornar necessárias análises conjuntas considerando dois ou até os três elementos, os riscos podem ainda ser potencializados em áreas densamente urbanizadas ou de alta concentração de indústrias.

A contaminação do ar pode se dar devido a emissão de poluentes a partir de fontes fixas como chaminés de indústrias, aterros sanitários, estações de tratamento de esgotos, ou fontes móveis como por exemplo os veículos ou atividades de mineração, este processo é influenciado pelas condições meteorológicas e topográficas. Entre os principais poluentes pode-se destacar: materiais particulados, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, solventes orgânicos voláteis, monóxido de carbono, chumbo e os aerossóis. Esses poluentes podem causar sérios danos à saúde humana, originando doenças respiratórias importantes cuja incidência é maior em regiões muito industrializadas.

A degradação do solo pode ocorrer como resultado de processos naturais, de uso inadequado do solo ou como uma combinação de ambos. Atualmente pode-se considerar a erosão e a contaminação como os principais agentes de degradação dos solos, estes processos podem ser agravados pelas condições naturais e frequentemente ocasionam alterações nos recursos hídricos através da drenagem das águas pluviais, lixívias de aterros e lixões, chuvas ácidas e lançamentos de esgotos. Quanto a erosão, Silva *et al* (2003) consideram que este é um processo complexo influenciado por diversos fatores de forma e magnitude variáveis, destacando entre os principais: o tipo de solo, o embasamento geológico, o clima, a topografia e a cobertura do solo.

Segundo Valle (1995) a contaminação do solo ocorre usualmente pela disposição de resíduos e produtos contaminados, sem os devidos cuidados, possibilitando que os agentes poluentes difundam-se no meio físico por lixiviação ou solubilização. Muitas vezes as substâncias causadoras da contaminação são arrastadas pelas águas superficiais e subterrâneas até distâncias muito grandes de forma a tornar difícil qualquer monitoramento, inviabilizando ações eficientes de recuperação. Por esse motivo o estudo da contaminação do solo e as soluções adotadas no sentido de evitá-la geralmente estão relacionados com a contaminação das águas. Evidenciando, neste caso, as interações entre água e solo, pode-se destacar as considerações de Cunha sobre os impactos da ação humana sobre os rios e canais:

*“Na maioria das vezes, os fatores naturais (topografia, geologia, solos, clima e vegetação) podem iniciar os desequilíbrios que serão agravados pelas atividades humanas na bacia hidrográfica, especialmente pelo manejo inadequado dos solos urbano e rural. São exemplos a substituição das matas ciliares por terras cultivadas e o avanço do processo de urbanização.”* (Cunha, 2003, p. 224)

É importante considerar, ainda, a questão dos resíduos urbanos de natureza perigosa que são utilizados em residências ou pequenos estabelecimentos comerciais tais como: lâmpadas, pilhas galvânicas, solventes, embalagens de aerossóis, materiais fotográficos, etc. que normalmente são direcionados para o lixo urbano sem receber o tratamento adequado que seria sua separação e recuperação através da extração dos materiais nocivos para reutilização.

Valle faz a seguinte afirmação com relação à contaminação dos solos nos centros urbanos:

*“A contaminação dos solos é hoje um tema de grande relevância nas grandes aglomerações urbanas pela dificuldade de disposição adequada dos seus resíduos, gerados em quantidades crescentes.*

*Essa contaminação é agravada pela proliferação dos chamados lixões, aterros clandestinos e vazadouros, e pela saturação dos aterros sanitários, operados muitas vezes além de suas capacidades de projeto.” (Valle, 1995, p. 34)*

A importância da água é indiscutível para o meio ambiente e para o desenvolvimento de todas as formas de vida. Sabe-se que sua contaminação pode atingir várias espécies através da cadeia alimentar, inclusive o homem e que água e solo estão tão intimamente ligados que a contaminação ou o uso inadequado de um pode causar danos ao outro através de processos naturais como o ciclo hidrológico. Tundisi (2003) ao analisar as atividades humanas e os riscos para a disponibilidade de água afirma que o desmatamento e o uso inadequado do solo podem alterar os padrões de drenagem inibindo a recarga natural dos aquíferos resultando em alterações da qualidade, da quantidade da água e da biodiversidade.

A contaminação da água pode ser de natureza química, física, bioquímica ou biológica. Em áreas densamente urbanizadas, de modo particular onde existe carência de infra-estrutura sanitária é comum o lançamento de resíduos orgânicos, esgotos sanitários, diretamente nos cursos d'água. Isto pode acarretar, devido a elevada carga orgânica, um consumo excessivo de oxigênio para sua degradação resultando em prejuízo aos organismos de vida aquática. Segundo Tundisi (2003) o despejo de águas residuárias de uso doméstico, não tratadas, é uma das principais causas da deterioração dos recursos hídricos em águas interiores e costeiras. Com relação ao crescimento da população urbana no Brasil e a demanda hídrica Tundisi afirma:

*“O crescimento da população urbana no Brasil promoveu aumento considerável nas demandas hídricas, associado à expansão urbana, à degradação dos mananciais e à contaminação e poluição.” (Tundisi, 2003, p. 86)*

A taxa de urbanização no Brasil mostra um aumento significativo nos últimos anos, a tabela 2.1 apresenta os dados de população e taxa de urbanização de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2000).

TABELA 2.1: Taxa de urbanização no Brasil.

ANO	POPULAÇÃO*	PARCELA DA POPULAÇÃO URBANA (%)
1970	93,1	55,9
1980	118,0	68,2
1991	146,8	75,6
1996	157,1	78,4
2000	169,0	81,1

FONTE: Tundisi, 2003, p. 86.

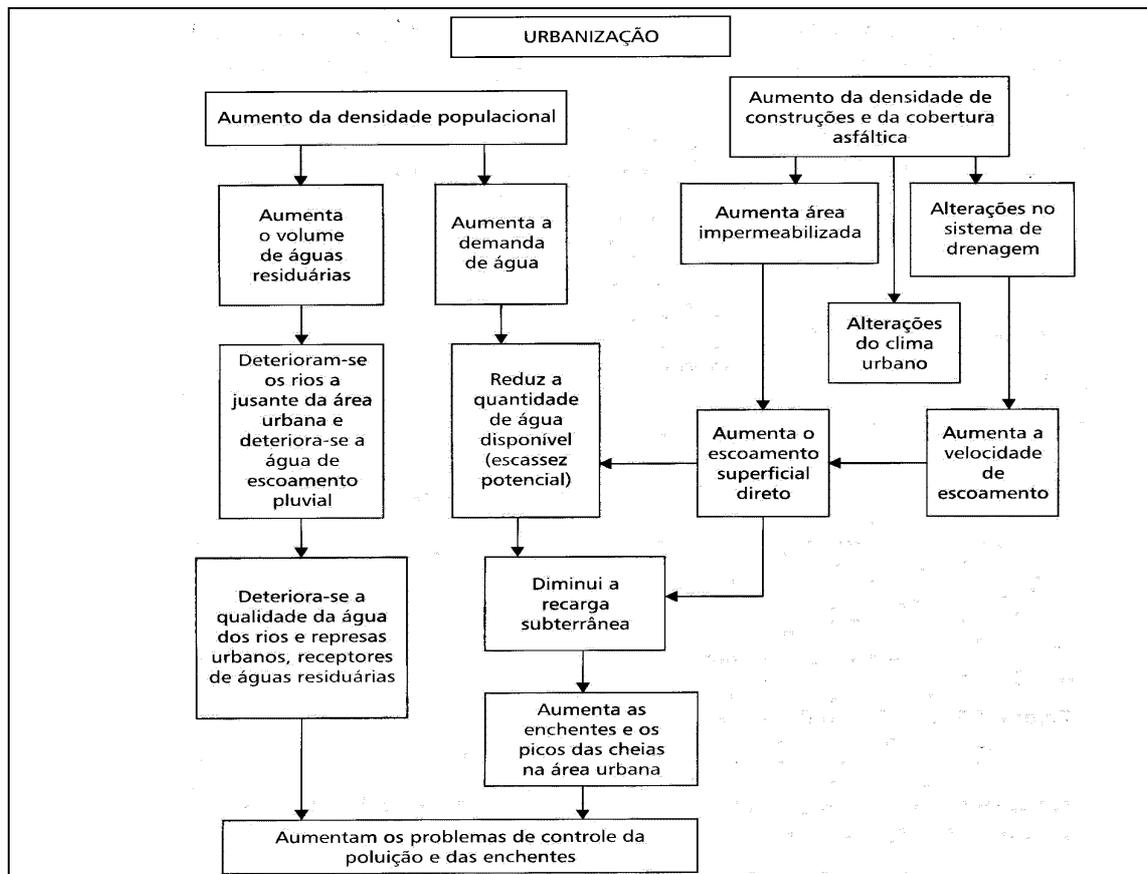
\* Em milhões de habitantes.

Considerando o uso do solo urbano Tucci (2000), *apud* Tundisi (2003), faz a seguinte consideração:

*“Alterações no ciclo hidrológico, produzidas pela inadequada ocupação do espaço, geram enchentes urbanas freqüentes, problemas na coleta e disposição do lixo urbano, que resultam em contaminação dos aquíferos e águas superficiais, e perdas na distribuição.”* (Tucci (2003), *apud* Tundisi, 2003, p. 86)

A figura 2.1 aponta os principais problemas causados pela urbanização à quantidade e qualidade das águas.

FIG. 2.1: Efeitos da urbanização na quantidade e qualidade da água.



FONTE: Tundisi, 2003, p. 42.

É preciso considerar também os produtos tóxicos presentes nos lançamentos dos efluentes industriais tais como: metais pesados, solventes e ácidos; nutrientes como nitratos e fosfatos provenientes dos fertilizantes bem como pesticidas e herbicidas decorrentes das atividades agrícolas. A integração dos setores de produção com a criação de pólos industriais, prática incrementada a partir da Segunda Guerra Mundial através da qual as indústrias puderam trocar produtos entre si e compartilhar fornecedores e insumos secundários da produção otimizando seus processos, proporcionou um aumento significativo do potencial destrutivo de acidentes industriais e uma elevada concentração de lançamento de efluentes nas áreas ocupadas por estes pólos industriais.

A mineração também emprega o uso intensivo da água, principalmente na lavagem e purificação de minérios. Segundo Tundisi (2003), no Brasil a mineração é uma fonte significativa de contaminação das águas subterrâneas. A atividade agrícola que modernamente se mostra muito tecnificada e dependente de agroquímicos tem gerado um tipo de poluição caracterizada pela baixa concentração de contaminantes em áreas extensas também chamada de poluição não pontual ou difusa.

Cabe destacar ainda que, sendo a água essencial à vida e estando ela presente na maioria das atividades econômicas, uma boa forma de reduzir os riscos de degradação é, sem dúvida, a racionalização do seu uso. Neste aspecto Valle faz a seguinte consideração:

*“Se forem menores os volumes de água utilizados e descartados pelas atividades de mineração, agricultura, indústria e serviços, menores serão naturalmente as necessidades de tratamento e de seu recondicionamento às condições originais de pureza.”*  
(Valle, 1995, p. 31)

Ações de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos desenvolvidas por pesquisadores e administradores de forma conjunta podem solucionar conflitos decorrentes dos usos múltiplos, reduzindo os desperdícios e consolidando o uso responsável da água. Contudo, neste processo é fundamental que haja uma visão abrangente do problema na qual sejam incorporadas as dimensões social e econômica no sentido de promover a qualidade ambiental e a qualidade de vida das comunidades.

## 2.4 BACIAS HIDROGRÁFICAS – CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE

Segundo a OMM -Organização Mundial de Meteorologia (1997), cada vez mais se está reconhecendo que o nível de planificação apropriado em recursos hídricos é a bacia hidrográfica. No Brasil, a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e organiza o setor de planejamento e gestão na área adota a bacia hidrográfica como unidade básica de gerenciamento, por conseguinte, busca-se cada vez mais um maior conhecimento a cerca das bacias hidrográficas e dos processos dinâmicos que nelas ocorrem. Torna-se então essencial conceituar e interpretar os mecanismos de funcionamento desses sistemas naturais constituídos pelas bacias de drenagem. Silveira (1997) define uma bacia hidrográfica da seguinte forma:

*“A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório.”* (Silveira, 1997, p.40)

Para Bermúdez *et al* (1992), as bacias hidrográficas constituem um território específico da superfície terrestre, delimitando-se as áreas marginais por seus divisores que nem sempre podem ser facilmente definidos. Ainda, segundo esse autor, a bacia fluvial em seu conjunto, pode ser considerada como um sistema aberto do tipo processo-resposta, pois os fluxos de matéria e energia que nela se processam causam efeitos em seu território.

A bacia hidrográfica processa os aportes de matéria e energia transformando-os em reações hidrológicas e geomorfológicas capazes de modelar sua paisagem através de alterações quantitativas e qualitativas. A configuração espacial, presente em uma bacia hidrográfica, consiste do resultado da ação dos processos físicos, bioquímicos e antrópicos, sobre os terrenos que a formam. Enquanto que o comportamento de seu regime fluvial é a consequência do arranjo dos seus componentes (litologia, topografia, clima, incidência solar, vegetação, uso do solo, etc.), que irão determinar a “morfologia dinâmica” da bacia.

A quantidade de água direcionada aos canais fluviais depende da área da bacia, de seu regime e do volume de precipitação. Os níveis dos canais são

influenciados ainda pelas chamadas perdas: evapotranspiração e infiltração. Outros elementos como encostas, topos, fundos de vale, corpos de água subterrânea e até mesmo sistemas de drenagem urbanos e áreas irrigadas também fazem parte da bacia de drenagem. Além disto podem existir várias bacias interligadas drenando para um reservatório comum como um lago, um rio de grandes dimensões ou o oceano. A hidrografia apresenta, ainda, uma importante relação com a geomorfologia, segundo Christofolletti:

*“Os estudos relacionados com as drenagens fluviais sempre possuíram função relevante na Geomorfologia e a análise da rede hidrográfica pode levar à compreensão e à elucidação de numerosas questões geomorfológicas, pois os cursos de água constituem processo morfogenético dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre.”*(Christofolletti, 1980, p. 102)

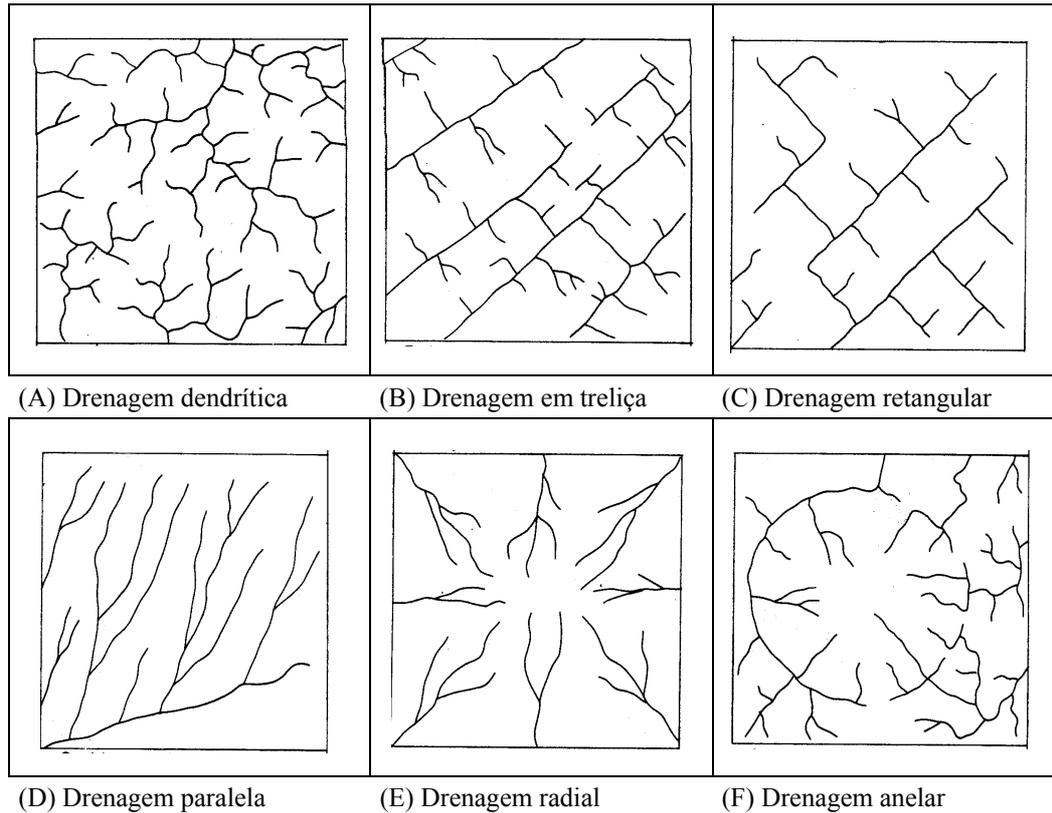
A fim de caracterizar corretamente os padrões de drenagem é necessário que se conheça a classificação das bacias de drenagem e dos rios, analisados separadamente, com relação ao tipo de escoamento. As bacias de drenagem dividem-se em: exorreicas, endorreicas, arreicas e criptorreicas. A classificação dos rios de forma individual considerando a linha do escoamento em relação à inclinação das camadas geológicas proposta por William Morris Davis (1954) apresenta os seguintes tipos: consequentes, subsequentes, obsequentes, ressequentes e insequentes.

A disposição espacial dos rios é definida como padrão de drenagem, Christofolletti faz as seguintes considerações a respeito dos padrões de drenagem:

*“Os padrões de drenagem referem-se ao arranjo espacial dos cursos fluviais, que podem ser influenciados em sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região. Uma ou várias bacias de drenagem podem estar englobadas na caracterização de determinado padrão.”* (Christofolletti, 1980, p. 103)

Na configuração da drenagem existem tipos básicos e formas derivadas conforme o número de unidades discernidas, considerando apenas os tipos básicos e utilizando o critério geométrico pode-se destacar os seguintes tipos: dendrítica ou arborescente, em treliça, retangular, paralela, radial, anelar e irregular, conforme apresenta a figura 2.2.

FIG.2.2: Padrões de drenagem



FONTE: Christofolletti, 1980, p. 104.

A partir de 1945, a análise de bacias hidrográficas começou a apresentar um caráter mais objetivo em virtude das publicações dos trabalhos de Robert E. Horton e Arthur N. Strahler (1952). Horton principiou a abordagem quantitativa das bacias de drenagem e seus estudos serviram de base para uma nova concepção metodológica e originaram inúmeras pesquisas destacando-se a contribuição de Strahler. Os parâmetros sugeridos para o estudo analítico consistem em quatro itens: hierarquia fluvial, análise linear, análise areal e análise hipsométrica.

A hierarquia fluvial é um processo que consiste em estabelecer a classificação de determinado curso d'água no conjunto da bacia hidrográfica a qual pertence. Este é um procedimento que visa a tornar mais objetivos os estudos morfométricos e portanto precede às análises supramencionadas. A classificação dos cursos d'água pode ser efetuada segundo diferentes métodos porém foi Horton (1945), quem inicialmente propôs um modo para a ordenação dos cursos d'água, após os estudos seguiram com as publicações de Strahler (1952), Adrian E. Scheiddeger (1965), Ronald L. Shreve (1966), e outros.

Segundo o critério de Horton (1945), os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários; os canais de segunda ordem podem receber apenas tributários de primeira ordem, os de terceira ordem podem receber um ou mais tributários de primeira ou segunda ordem, os de quarta ordem podem receber tributários de terceira ordem ou de ordem inferior e assim sucessivamente.

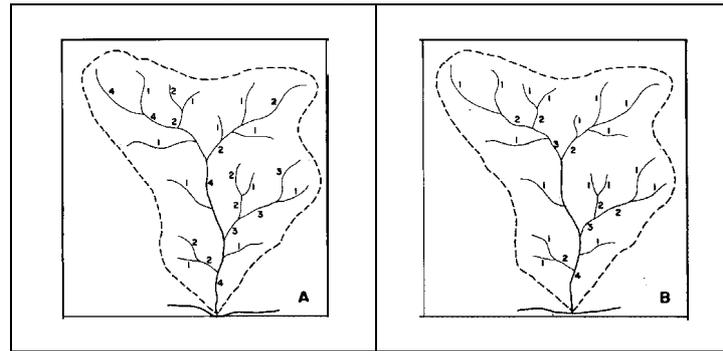
Uma particularidade deste método é que o canal principal deve ser considerado com o mesmo número de ordem até a nascente. A numeração deve ser refeita a cada confluência com ordem mais elevada até que o canal de n-ésima ordem se estenda desde a confluência final até a nascente do tributário mais longo.

O critério de Strahler, proposto em 1952, parte do princípio de que os menores canais, sem tributários, devem ser considerados de primeira ordem; os canais de segunda ordem surgem da confluência dos canais de primeira ordem e só podem receber afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de primeira e de segunda ordens; os canais de quarta ordem surgem da confluência de dois canais de terceira ordem, podendo receber tributários de ordens inferiores e assim sucessivamente. Utilizando este critério não é necessário refazer a numeração a cada confluência.

Scheidegger propôs, em 1965, o seu método de ordenação dos canais uniformes (*consistent stream ordering*) e, mais tarde, Shreve desenvolveu um trabalho no sentido de estabelecer a magnitude de determinado ligamento ou de determinada bacia hidrográfica. Cristofolletti (1980), ao comentar os diferentes métodos empregados na ordenação dos canais fluviais, afirma que “...os diversos modos de ordenação são úteis porque propiciam maneira fácil e rápida de quantitativamente designar qualquer rio ou segmento fluvial em qualquer parte do mundo”, contudo refere-se a proposição introduzida por Strahler como “a mais amplamente utilizada, em virtude do caráter descritivo e do relacionamento com as leis da composição da drenagem”.

A figura 2.3 mostra as duas formas de hierarquização da drenagem segundo Horton e Strahler.

FIG. 2.3: Hierarquização segundo Horton (A) e Strahler (B).



FONTE: Christofolletti, 1980, p. 107.

A análise linear de bacias hidrográficas consiste na obtenção de alguns índices originados da rede hidrográfica e cujas medições necessárias são efetuadas ao longo das linhas de escoamento. Estes índices consideram medidas de comprimento dos canais com suas médias e relações, comprimento do canal principal, número de segmentos fluviais de cada ordem e suas relações, diferenças de altitude do início e do fim do segmento fluvial, declividades e suas relações no ordenamento dos canais, etc..

Entre as medidas que compõem a análise linear da bacia hidrográfica pode-se destacar o comprimento do canal principal. Para defini-lo corretamente Christofolletti recomenda tomar por base algum dos critérios que seguem: “i) aplicar os critérios estabelecidos por Horton, pois o canal de ordem mais elevada corresponde ao rio principal; ii) em cada bifurcação, a partir da desembocadura, optar pelo ligamento de maior magnitude; iii) em cada confluência, a partir de desembocadura, seguir o canal fluvial montante situado em posição altimétrica mais baixa até atingir a nascente do segmento de primeira ordem localizada em posição altimétrica mais baixa, no conjunto da bacia; iv) curso de água mais longo, da desembocadura da bacia até determinada nascente, medido como a soma dos comprimentos dos seus ligamentos.” (Christofolletti, 1980, p. 111)

A análise areal compreende alguns índices definidos a partir de medições planimétricas e lineares, são eles: área da bacia (definida como a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial projetada horizontalmente), comprimento da bacia, relação entre o comprimento do rio principal e da área da bacia, forma da bacia, densidade de rios, densidade de drenagem, densidade de segmentos, relação entre as áreas das bacias e o coeficiente de manutenção.

Cabe destacar a questão do comprimento da bacia para a qual existem diferentes definições, entre as quais Christofolletti (1980) destaca: i) distância medida em linha reta da foz até determinado ponto do perímetro, que assinala equidistância no comprimento do perímetro entre a foz e ele, ou seja, a metade da distância correspondente ao comprimento total do perímetro; ii) maior distância medida, em linha reta, entre a foz e determinado ponto ao longo do perímetro; iii) distância medida, em linha reta, entre a foz e o mais alto ponto ao longo do perímetro; iv) distância medida em linha reta acompanhando paralelamente o rio principal.

A densidade de rios pode ser definida como a relação entre o número de rios existentes e a área da bacia de drenagem. Sua finalidade seria comparar a frequência de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão, onde com relação ao cálculo desse índice Christofolletti afirma:

*“O número de canais de determinada bacia é noção básica para demonstrar a sua magnitude, conforme os critérios estabelecidos por Scheidegger ou Shreve. O cálculo da densidade de rios é importante porque representa o comportamento hidrográfico de determinada área, em um de seus aspectos fundamentais: a capacidade de gerar novos cursos d’água.”* (Christofolletti, 1980, p. 115)

A análise hipsométrica estuda as inter-relações existentes entre uma unidade horizontal de espaço e sua distribuição em faixas de altitude, indicando a proporção ocupada por determinada área em relação às variações altimétricas a partir de determinada isoipsa base. A curva hipsométrica é obtida calculando-se as áreas existentes em cada faixa altimétrica e plotando os valores obtidos num gráfico onde nas abscissas constam as áreas em  $\text{km}^2$  e nas ordenadas os valores das altitudes em metros, desta forma obtém-se uma curva cuja finalidade é exprimir a maneira pela qual o volume rochoso situado abaixo da superfície topográfica está distribuído desde a base até o topo.

Um índice particularmente importante da análise hipsométrica é o índice de rugosidade que é o produto entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem. Strahler (1958) *apud* Christofolletti (1980) faz as seguintes considerações a respeito dos relacionamentos entre as vertentes e a densidade de drenagem: se a densidade de drenagem aumenta enquanto o valor da amplitude altimétrica permanece constante, a distância horizontal média entre as divisórias e os canais adjacentes será reduzida,

acompanhada de aumento na declividade da vertente. Se o valor da amplitude altimétrica aumenta enquanto a densidade de drenagem permanece constante, também aumentarão as diferenças altimétricas entre o interflúvio e os canais e a declividade das vertentes. Os valores extremamente altos do índice de rugosidade ocorrem quando ambos os valores são elevados, isto é, quando as vertentes são íngremes e longas. Este índice pode ser utilizado como um indicador de fragilidade potencial do ambiente da bacia, conforme afirma Ross:

*“A intensidade de dissecação ou – como também se costuma chamar: a intensidade da rugosidade topográfica – é o primeiro grande indicador de fragilidade potencial que o ambiente natural apresenta. A densidade de drenagem associada ao grau de entalhamento dos canais combinados, determina a rugosidade topográfica, ou índice de dissecação do relevo e obviamente define a dimensão interfluvial média dos conjuntos homogêneos de formas ou conjuntos de formas semelhantes.”*  
(Ross, 2003, p. 73)

Desta forma, calcular a rugosidade topográfica para cada uma das sub-bacias que compõem uma bacia que se deseja estudar pode constituir uma forma expedita de avaliar quais áreas estariam mais sujeitas ao desenvolvimento de processos erosivos. Sabe-se que elevados índices de degradação dos cursos d’água devido ao aporte de sedimentos podem ser resultado de processos erosivos nos quais existe grande remoção de solo. Este cálculo bem como outros índices morfométricos podem ser realizados com o auxílio do modelo digital de elevação do terreno.

## 2.5 O GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS COMO INSTRUMENTO DE RESPOSTA À CRISE

A problemática ambiental envolvendo os recursos hídricos tem sido denominada de “crise da água” e caracteriza-se pela escassez gerada por uma desigual distribuição desse recurso no mundo decorrente da variabilidade climática, e pelo alto grau de deterioração de alguns mananciais, muitas vezes, inviabilizando o seu uso para o abastecimento e a maioria dos processos produtivos. Esta situação de estresse hídrico aliada ao alto crescimento demográfico, à falta de planejamento e às desigualdades sociais resultam em grandes parcelas da população mundial sem acesso à água potável.

A quantificação da água disponível na Terra, tem sido matéria de inúmeras avaliações, efetuadas por diferentes métodos e com resultados, às vezes, contraditórios. Nesse sentido pode-se considerar a afirmação de Villers, segundo a qual:

*“A melhor estimativa, em meio a muitas suposições.” acadêmicas – a de Igor Shiklomanov, do State Hydrological Institute, em São Petersburgo – é de que existem cerca de 1,4 bilhão de quilômetros cúbicos de água na Terra, sob as formas líquida e congelada, nos oceanos, lagos, rios, geleiras e no subsolo.”* (Villers, 2002, p. 53.)

Entretanto, segundo esse autor, o próprio Shiklomanov, designado pela ONU para realizar o levantamento mundial das reservas de água, afirmou que estas avaliações não eram precisas pois teriam sido baseadas em números obtidos por *“computador, sob pressupostos bastante preliminares”*. Contudo, há divergências grosseiras, Lomborg (2002), por exemplo, chega a afirmar que a quantidade total de água na Terra estaria estimada *“em inconcebíveis 13,6 bilhões de quilômetros cúbicos.”* Peixoto e Oort (1990) *apud* Tucci (2001), apresentam os números descritos na tabela 2.2 para as reservas de água do ciclo hidrológico global:

TABELA 2.2: Reservas de água do ciclo hidrológico global

LOCALIZAÇÃO	RESERVAS DE ÁGUA
Oceanos	1.350 x 10 <sup>15</sup> m <sup>3</sup>
Geleiras	25 x 10 <sup>15</sup> m <sup>3</sup>
Águas subterrâneas	8,4 x 10 <sup>15</sup> m <sup>3</sup>
Rios e lagos	8,4 x 10 <sup>15</sup> m <sup>3</sup>
Biosfera	8,4 x 10 <sup>15</sup> m <sup>3</sup>
Atmosfera	0,0130 x 10 <sup>15</sup>

FONTE: Tucci, 2001, p. 39.

Analisando estes números não parece lógico considerar a escassez de água na Terra como um problema generalizado mas sim como uma série de eventos regionais que podem, se bem administrados, através do uso de novas tecnologias e soluções criativas, ter seus efeitos minimizados causando menores danos às populações atingidas. Neste sentido e sobre a questão da escassez de água na Terra Lomborg, em obra polêmica, faz a seguinte afirmação:

*“É verdade que pode haver problemas regionais e logísticos com a água. Teremos de aumentar a eficiência de seu uso. Mas basicamente temos água suficiente.”* (Lomborg, 2002, p. 180)

O ciclo hidrológico promove através de suas várias etapas a circulação da água no meio ambiente formando um sistema fechado a nível global mas aberto a nível local, constituindo um unificador fundamental de tudo o que se refere à água no planeta. A velocidade do ciclo hidrológico pode variar de uma era geológica para outra da mesma forma que as quantidades de água doce e salgada, conforme Pielou (1998) o ciclo hidrológico pode ser considerado um “ciclo de vida”.

Neste sentido, torna-se importante considerar as interferências das atividades humanas no ciclo hidrológico e os seus impactos que podem variar conforme a região mas que de forma geral têm origem no uso excessivo de águas subterrâneas ou em modificações no ambiente aquático como a construção de reservatórios para armazenamento, a transposição de águas entre bacias hidrográficas e a diminuição da capacidade do solo em absorver chuvas causada por mudanças no uso do solo.

Nos últimos anos, verifica-se que o aumento do consumo de água no mundo decorrente do crescimento populacional e os usos múltiplos têm causado uma forte pressão sobre os recursos hídricos. Segundo Biswas (1983), dados demonstram que a partir da década de 1960 houve considerável acréscimo no uso da água na agricultura, principalmente para a irrigação, e em outras atividades como produção de suínos e aves, dessedentação de animais e disponibilização de águas superficiais e subterrâneas para várias atividades agrícolas. Com relação ao consumo *per capita*, sabe-se que varia de acordo com a região de 20 a quase 1500 litros por habitante/dia. Segundo Lomborg (2002): o cidadão típico da União Européia consome cerca de 566 litros de água por dia enquanto que um norte-americano consome uma quantidade cerca de três vezes maior, em torno de 1.442 litros por dia. No Brasil o consumo é também variável ficando na faixa de 200 litros por habitante/dia, em média. (Fonte: SNIS — Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, Ministério das Cidades)

Considerações a respeito do consumo são importantes, entretanto, tendo em vista que grande quantidade da água retirada da natureza a ela retorna, voltando a fazer parte do ciclo hidrológico, seria pertinente introduzir outra forma de avaliação no sentido qualitativo, definindo qual o impacto que esta água ao retornar, seja como efluente industrial, agrícola ou doméstico, pode causar ao meio ambiente. Neste sentido, é necessário que se façam algumas considerações a respeito do termo “qualidade da água”. Segundo Branco (1999) o termo “qualidade da água” não tem uma definição

única e está sempre ligado a forma de uso, isto é, uma água pode ser considerada de excelente qualidade para um determinado fim mas não atender aos padrões mínimos quando destinada a outro tipo de uso. Esses padrões podem variar muito em relação aos diversos usos: industrial, irrigação, pesca, abastecimento público, recreação, etc.. Branco assim define qualidade da água:

*“...a expressão corrente qualidade da água não se refere a um grau de pureza absoluto ou mesmo próximo do absoluto, como se requer, em geral, para outras substâncias, compostos ou materiais. Refere-se, isso sim, a um padrão tão próximo quanto possível do natural, isto é, da água tal como se encontra nos rios e nascentes, antes do contato com o homem. Além disso, há um grau de pureza desejável, o qual depende do uso que dela será feito.”* (Branco, 1999, p. 4).

Tomando por base a utilização da água para o abastecimento público, percebe-se que embora existam inúmeras possibilidades técnicas de depuração sempre haverá a limitação econômica, tornar a água potável e distribuí-la à população pode ser economicamente inviável se o manancial atingir um nível muito alto de degradação. Da mesma forma, outros usos como a agricultura ou a indústria, requerem uma qualidade mínima para que a água possa ser utilizada com segurança. É necessário, portanto, que se estabeleçam ações integradas visando o monitoramento e controle dos recursos hídricos não só no aspecto quantitativo mas também qualitativo na busca de soluções racionais para o uso da água aliado a preservação do meio ambiente.

O gerenciamento de recursos hídricos é composto por uma série de ações que envolvem diagnóstico, planejamento e controle, tendo como objetivo garantir o suprimento de água para a presente e as futuras gerações, atenuar conflitos gerados pelos usos múltiplos e preservar os mananciais. Esse processo pode ser realmente eficaz quando realizado de forma integrada considerando não só os aspectos locais e imediatos mas também outros que podem influenciar indiretamente a qualidade do manancial. Tundisi faz a seguinte consideração a respeito do gerenciamento de recursos hídricos:

*“Do ponto de vista de planejamento e gerenciamento, é fundamental considerar a mudança de paradigma de um sistema setorial, local e de respostas à crises para um sistema integrado, preditivo e em nível de ecossistema. Isto deverá produzir uma visão mais abrangente dos problemas e deverá incorporar a dimensão social e econômica nas atividades de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.”* (Tundisi, 2003, p. 105).

No aspecto legal, a Lei de Direito da Água do Brasil é o Código de Águas, de 10 de julho de 1934, após, a Constituição de 1988 fez alterações importantes como a extinção do domínio privado da água e o estabelecimento de apenas dois domínios para os corpos d'água no Brasil. Em seu Art. 20, inciso III a Constituição da República Federativa do Brasil define os domínios federais: *“os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais;”* e no Art. 26; inciso I, define as águas que são bens dos estados: *“as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, nas formas da lei, as decorrentes de obras da União;”* (Constituição da República Federativa do Brasil).

Em 8 de janeiro de 1997 foi sancionada a Lei nº 9.433, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, organizando o setor de planejamento e gestão na área de recursos hídricos no Brasil. Esta lei tem alguns aspectos fundamentais que denotam importantes avanços na gestão de recursos hídricos: a adoção da bacia hidrográfica como unidade básica de planejamento, o princípio dos usos múltiplos; o reconhecimento da água como um bem finito; o reconhecimento do valor econômico da água e o princípio da gestão descentralizada e participativa.

É importante destacar aspectos relevantes desta lei como a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso da água e a implementação do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Os dois primeiros são instrumentos de controle para o uso racional da água enquanto que o último tem por objetivo coletar, organizar e difundir uma base de dados relativa aos recursos hídricos a fim de subsidiar as tomadas de decisão e as ações de gerenciamento. Com relação aos sistemas de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos Tundisi afirma:

*“Portanto os avanços no sistema de planejamento e gerenciamento das águas devem considerar processos conceituais (a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento e a integração econômica e social), processos tecnológicos (o uso adequado de tecnologias de proteção, conservação, recuperação e tratamento) e processos institucionais (a integração institucional em uma unidade fisiográfica, a bacia hidrográfica, é fundamental).”* (Tundisi, 2003, p. 107).

O gerenciamento de recursos hídricos é uma tarefa complexa que envolve vários aspectos e diferentes segmentos da sociedade: setor público, universidades, setor privado e usuários em geral. Através de um trabalho conjunto esses segmentos contribuem no sentido de apoiar a implementação de políticas públicas, implantar projetos de proteção e recuperação, desenvolver atividades de educação ambiental, obter financiamentos junto a instituições públicas e privadas e apoiar o desenvolvimento metodológico e a introdução de novas tecnologias.

Aos gestores cabe promover o diagnóstico, monitoramento, controle e a recuperação dos recursos hídricos de maneira a promover o uso racional da água e a administração de eventuais conflitos decorrentes dos usos múltiplos. Neste sentido, o papel dos pesquisadores na implementação de bases de dados e no desenvolvimento de novas tecnologias que proporcionem diagnósticos e mecanismos de controle com respostas mais rápidas é de fundamental importância. Sobre a integração da pesquisa no gerenciamento de recursos hídricos, Salati (1996) *apud* Tundisi (2003) afirma:

*“A integração entre pesquisas, gerenciamento e políticas públicas pode ser melhor caracterizada e mais efetiva quando utilizada no contexto de bacias hidrográficas como unidade de gerenciamento. Essa abordagem, já em fase de implantação em muitos Estados do Brasil, deve ser o grande promotor desta integração.”* (Salati (1996), *apud* Tundisi, 2003, p. 124)

A pesquisa e o gerenciamento devem atuar de forma integrada com objetivos bem definidos e uma visão estratégica comum dos recursos hídricos que possa nortear as ações a fim de que os resultados da pesquisa possibilitem respostas mais rápidas em situações extremas e mais abrangentes no universo de atuação. Entretanto, a interação entre pesquisa e gerenciamento deve ser avaliada permanentemente de maneira que haja uma constante adequação às novas situações no que tange à pesquisa e, com relação ao gerenciamento, a adaptação às tecnologias desenvolvidas que possam trazer novas perspectivas na administração dos problemas ambientais.

## 2.6 AS FERRAMENTAS DA INFORMAÇÃO ESPACIAL – GEOPROCESSAMENTO

Existem várias definições para Geoprocessamento, segundo Lisboa Filho (1997), no Brasil, este termo é equivalente a “Geomatics”, uma forma genérica aplicada ao conjunto das tecnologias relacionadas a cartografia digital, sensoriamento remoto e

sistemas de informações geográficas. Ainda de acordo com este autor, o Canadian Institute of Geomatics, do Canadá, define geomatics como “*o campo de atividades que, utilizando uma abordagem sistêmica, integra todos os meios empregados na aquisição e gerenciamento de dados espaciais usados em aplicações científicas, administrativas, legais e técnicas, envolvidas no processo de produção e gerenciamento de informação espacial*”.

Segundo Ramirez (1994), o termo sistema de geoprocessamento engloba todos os sistemas computacionais capazes de processar dados georreferenciados: sistemas de cartografia automatizada, sistemas de processamento de imagens, sistemas de gerenciamento de redes de infra-estrutura, sistemas de apoio a projetos e os sistemas de informações geográficas. Pode-se perceber que uma das principais características dessa tecnologia é sua multidisciplinaridade, tanto no desenvolvimento das técnicas quanto nas suas aplicações.

Mendes e Cirillo (2001) consideram que, num sentido mais amplo, o geoprocessamento se estende além das capacidades técnicas de codificar, armazenar e recuperar dados espaciais e/ou geográficos, ou seja, os dados representam o mundo real, onde cada característica ou propriedade é representada por um único plano de informação. Referem-se às dificuldades do geoprocessamento em retratar a complexidade das relações entre os aspectos, variáveis, características e propriedades do mundo real cuja análise deveria ser realizada através do entendimento dos processos físicos, econômicos e sociais que ali interagem. Neste sentido, consideram o geoprocessamento como o “*modelo dos modelos*” pela sua capacidade de comunicação fácil com as pessoas e, conceitualmente, como um modelo simplificado do mundo real, segundo eles, “*uma estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características e relações importantes, através de dados espacializados*”. (Mendes e Cirilo, 2001, p. 50).

Contudo, é importante considerar que modelos, mesmo os mais elaborados, não são mais do que representações do mundo real, são analogias que contêm um maior ou menor grau de simplificação dos fenômenos reais, fato que remete sempre à necessidade de validação desses modelos. No caso de aplicações em geoprocessamento, a validação do modelo vai depender diretamente do nível de análise que se pretende atingir e está ligado ao conceito de confiabilidade e de sua adequação à matéria objeto

do estudo. Referindo-se ao geoprocessamento, considerado também como uma técnica de modelagem do meio ambiente, Mendes e Cirilo enfatizam que o desenvolvimento e aplicação de modelos e o raciocínio são inseparáveis, dizem eles que “*o preço do uso de tais modelos é a eterna vigilância*”. (Mendes e Cirilo, 2001, p. 19)

Dados geográficos possuem uma natureza dual, ou seja, possuem uma localização no espaço geográfico que é expressa em coordenadas, e atributos descritivos que podem ser armazenados em um banco de dados convencional. Existem várias formas de abordagem do espaço, segundo diferentes áreas do conhecimento, são exemplos de categorias de análise: espaço-físico, espaço-distância, espaço-solo, espaço-imagem, espaço social, etc . Todas formas de análise podem conter um grande número de informações com diferentes tipos de armazenamento. Falando a respeito da informação espacial, Câmara e Medeiros afirmam:

*“A noção de informação espacial está relacionada à existência de objetos com propriedades, as quais incluem a sua localização no espaço e a sua relação com outros objetos. Estas relações incluem conceitos topológicos (vizinhança, pertinência), métricos (distância) e direcionais (“ao norte de”, “acima de”).”* (Câmara e Medeiros, 1998, p. 5)

Os sistemas de geoprocessamento permitem a associação de domínios espaciais contínuos, superfícies contínuas como a topografia, e domínios espaciais discretos quando os entes ocupam uma posição específica do espaço, por exemplo a rede de drenagem. Pode-se destacar no geoprocessamento a capacidade de manipular informações distribuídas no espaço, ao invés de dados tabulares, formato com o qual a maioria dos modelos foram desenvolvidos.

Os fenômenos geográficos distribuem-se sobre a superfície terrestre estabelecendo padrões de ocupação. O geoprocessamento, ao trabalhar com esses fenômenos, busca representar os mecanismos de inter-relação entre eles, onde segundo Câmara e Medeiros (1998), estes padrões podem assumir as seguintes formas: a) Correlação espacial: um fenômeno espacial está relacionado com o entorno de forma mais intensa quanto maior for a proximidade de localização; b) Correlação temática: as características de uma determinada região são moldadas por um conjunto de fatores, as formas geológicas, o solo, o clima, a vegetação e os rios formam uma totalidade interrelacionada; c) Correlação temporal: os fenômenos com seus ciclos característicos

transformam a superfície da Terra modificando as paisagens mas deixando registradas nelas as suas marcas; d) Correlação topológica: as relações topológicas como adjacência, pertinência e intersecção permitem estabelecer os relacionamentos entre os objetos geográficos.

Uma das principais características do geoprocessamento é a possibilidade de trabalhar com dados de diferentes origens, entre os principais tipos de dados utilizados, segundo Câmara e Medeiros (1998), podem-se destacar: mapas temáticos, mapas cadastrais, redes, imagens e modelos numéricos do terreno, cada um deles admitindo diferentes representações computacionais. As formas de representação computacional podem ser divididas em duas classes: vetorial e matricial. A forma vetorial procura reproduzir um elemento o mais exatamente possível reduzindo esta representação a três formas básicas: pontos, linhas e polígonos. A forma matricial consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói por meio de células o elemento que está sendo representado, atribuindo a cada célula um código ou atributo de maneira que ela possa ser identificada do ponto de vista computacional para compor o objeto.

Os mapas temáticos descrevem, de forma qualitativa, a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, por exemplo: mapas de uso dos solos, geológicos, pedológicos, etc. Estes mapas admitem representação matricial ou vetorial. Mapas cadastrais são mapas onde cada elemento é considerado um objeto geográfico possuindo atributos próprios e podendo estar associado a diferentes representações gráficas, seus atributos gráficos são armazenados em formato vetorial e os não gráficos em bancos de dados. As redes são representações onde cada objeto possui uma localização geográfica exata associada a atributos descritivos, suas informações são armazenadas em formato vetorial contendo um sentido de fluxo associado a um custo de percorrimto.

As imagens representam formas indiretas de captura da informação espacial e são obtidas através de sensores orbitais, fotografias aéreas ou *scanners* aerotransportados. Essas informações são armazenadas em formato matricial onde cada *pixel* (*picture element*) contém um valor referente à energia eletromagnética refletida ou emitida pelo alvo na superfície da Terra. Os modelos numéricos do terreno (MNT) representam uma grandeza que varia de forma contínua no espaço, são comumente associados à altimetria e podem ser armazenados em formato matricial ou vetorial (grades triangulares ou isolinhas).

Da mesma forma, atributos não-espaciais, informações descritivas, relacionadas a entidades gráficas são armazenadas em Sistemas de Gerenciamento de Bancos de Dados (SGBD) e carregadas em memória quando de sua utilização, isto garante sua integridade, eficiência e persistência, ou seja, possibilidade de manutenção dos dados por um longo tempo, independente dos aplicativos de acesso.

O geoprocessamento, desde a captura dos dados, passando por seu armazenamento até a manipulação da informação espacial, envolve uma série de tecnologias que evoluíram à medida que os recursos computacionais foram se ampliando. O aumento da capacidade das máquinas e a evolução dos *softwares* tornou possível agregar mais dados aos sistemas ampliando a abrangência das análises e obtendo resultados com um menor tempo de processamento. Isto é particularmente útil nos estudos que envolvem sistemas ambientais, onde é grande o número de variáveis a serem consideradas e o volume de dados pode tornar o processamento mais demorado. Mendes e Cirilo (2001) consideram o geoprocessamento uma importante ferramenta para a análise de processos ambientais:

*“...o geoprocessamento se insere como uma ferramenta que tem a capacidade de manipular as funções que representam os processos ambientais, em diversas regiões, de uma forma simples e eficiente, permitindo uma economia de recursos e tempo.”* (Mendes e Cirilo, 2001, p. 30).

Segundo Câmara e Medeiros (1998), atualmente já são discutidas novas metodologias para evolução dos sistemas de geoprocessamento como operações de classificação contínua, que utilizam noções de conjuntos nebulosos (*fuzzy*) para geração de mapas e o uso de inteligência artificial, que, uma vez implementadas, aumentariam consideravelmente o potencial dessa ferramenta.

#### 2.6.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), do inglês, *Geographic Information System* (GIS) são sistemas de informação que possibilitam a realização de operações de análise espacial envolvendo dados georreferenciados, ou seja, dados referenciados geograficamente em relação à superfície terrestre. Esses sistemas permitem que se associem a elementos gráficos informações descritivas e que esses elementos gráficos com localizações definidas sejam conectados através de

relacionamentos espaciais, tornando possível uma série de análises e consultas de forma integrada.

Existem várias definições para Sistemas de Informações Geográficas entre as quais podem-se destacar:

*“Um SIG é um poderoso conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais do mundo real para um conjunto particular de propósitos.”* (Burrough, 1998)

*“Um SIG é um sistema de suporte à decisão que envolve a integração de dados referenciados espacialmente em um ambiente de respostas a problemas.”* (Cowen, 1988)

*“Um SIG é um sistema de informação, baseado em computador, que possibilita a captura, modelagem, manipulação, recuperação, análise e apresentação de dados referenciados geograficamente.”* (Worboys, 1995)

Segundo Lisboa Filho (1997) os SIGs começaram a ser pesquisados na década de 1960 em diversos países como Estados Unidos, Canadá e Inglaterra, porém estas pesquisas eram realizadas de forma independente e paralela. Os primeiros SIGs eram dirigidos, principalmente, para o processamento de atributos de dados e análises geográficas com capacidades gráficas rudimentares. Esta tecnologia evoluiu significativamente a partir das décadas de 1970 e 1980 com o aumento da capacidade de processamento dos computadores e a redução de custos de *hardware* e os primeiros sistemas comerciais surgiram no início da década de 1980. De acordo com o *Environmental Systems Research Institute* (1991) a integração com a tecnologia de gerenciamento de banco de dados foi outro marco importante no desenvolvimento desses sistemas.

Os SIGs inicialmente bastante empregados em sistemas de instituições públicas, empresas de prestação de serviços e na área de segurança, atualmente têm sido utilizados nas mais diversas áreas, Ramirez (1994) assim divide o emprego dessa tecnologia: ocupação humana, uso da terra, uso de recursos naturais, meio ambiente e atividades econômicas. Câmara e Medeiros (1998) consideram que há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG: como ferramenta para produção de mapas, como suporte para análise espacial de fenômenos ou como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação da informação espacial. Segundo eles estas formas de utilização correspondem a três visões diferentes:

*“Estas três visões do SIG são antes convergentes que conflitantes e refletem a importância relativa do tratamento da informação geográfica dentro de uma instituição.” (Câmara e Medeiros, 1998, p. 6)*

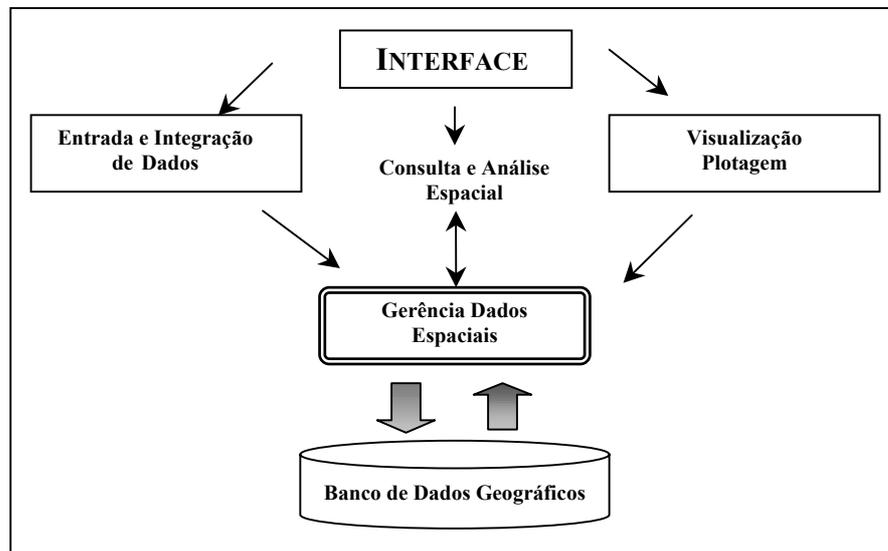
Com relação à organização do ambiente de trabalho em SIG, Câmara e Medeiros (1998) distinguem duas formas distintas: organização baseada em banco de dados geográficos e organização baseada em projetos. No primeiro caso o usuário define inicialmente o esquema conceitual associado às entidades do banco de dados geográficos, indicando os seus atributos não-espaciais e as representações geométricas associadas, ou seja, a estrutura do banco de dados precede a inserção dos dados. No segundo caso o trabalho inicia com a definição da área e após são definidas as entidades geográficas que compõem o projeto. É importante destacar que um banco de dados geográfico pode dar origem a vários projetos mesmo que não haja continuidade espacial mas, necessariamente o esquema conceitual deve ser o elo comum.

Um SIG permite organizar e integrar a informação espacial através dos chamados PIs, planos de informação, que são níveis ou camadas que variam em número, formatos e temas de acordo com o projeto. Os PIs podem pertencer a diferentes classes de dados relacionados com os formatos de representação disponíveis no SIG utilizado, por exemplo: rede de drenagem, mancha urbana, malha viária, tipologia vegetal, uso e ocupação do solo, etc.. Considerando o SIG como um modelo pode-se dizer, ainda, que cada PI representa um aspecto, variável, característica ou propriedade do mundo real. Estes planos de informação quando superpostos irão compor a base das análises espaciais.

De um modo geral, Câmara e Medeiros (1998) identificam os seguintes componentes num SIG: a) interface com o usuário; b) entrada e integração de dados; c) consulta, análise espacial e processamento de imagens; d) visualização e plotagem; e) armazenamento e recuperação de dados. Segundo eles, estes componentes se relacionam de forma hierárquica de maneira que o nível mais próximo do usuário define como o sistema é operado e controlado, o nível intermediário apresenta os mecanismos de processamento dos dados espaciais enquanto que no nível interno do sistema funciona o gerenciamento do banco de dados geográficos controlando operações de armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos. A figura 2.4

apresenta de forma simplificada a arquitetura de um Sistema de Informações Geográficas.

FIG.2.4: Arquitetura de Sistemas de Informações Geográficas



FONTE: Câmara e Medeiros, 1998, p. 9

Segundo Medeiros e Pires (1998), os bancos de dados geográficos distinguem-se dos bancos de dados convencionais por armazenarem dados relacionados com a localização das entidades, além dos dados alfanuméricos e, destacam, estas diferenças se estendem aos tipos de operações que podem ser realizadas. Neste sentido, pode-se perceber que a maneira como os dados são armazenados pode facilitar sua organização, consulta e atualização e que isto requer um banco de dados geográficos adequadamente estruturado que possibilite a implementação das operações de análise espacial. A correta estruturação de um banco de dados geográficos permite, através de técnicas de modelagem de dados, aplicações diferenciadas para o mesmo grupo de dados reduzindo consideravelmente espaço e esforço de programação. O processo de modelagem de dados é realizado tomando por base as necessidades dos usuários e as aplicações pretendidas. A respeito da modelagem de dados para sistemas de informações, aqui chamada de modelagem do mundo real, Medeiros e Pires afirmam:

*“A modelagem do mundo real compreende a modelagem tanto de dados como de processos, e envolve a seleção, abstração e generalização de entidades de interesse do usuário e a especificação de aspectos dinâmicos. Os resultados da etapa de modelagem direcionam a definição do banco de dados assim como também especificam a biblioteca de funções e parâmetros que devem ser utilizados junto com os dados no banco de dados.”* (Medeiros e Pires, 1998, p. 34).

Entretanto, é necessário também um sistema que seja responsável pelo gerenciamento dessa informação estruturada, de forma especial quando o volume de dados é muito grande, esses sistemas constituem os SGBD (Sistemas de Gerenciamento de Bancos de Dados) que nada mais são do que *softwares* de caráter geral que permitem a manipulação dos dados armazenados de forma consistente e integrada. Segundo Medeiros e Pires (1998) os SIGs comerciais, atualmente, podem ser divididos em três grupos, conforme o tipo de SGBD: a) os que usam SGBDs relacionais comerciais para armazenar dados geográficos; b) os que usam bancos de dados proprietários para os dados geográficos, permitindo armazenar dados convencionais em SGBDs comerciais; c) os que não usam SGBD e gerenciam diretamente estruturas de dados e arquivos.

Os SIGs são, portanto, sistemas compostos de estruturas nas quais são armazenados os dados, funções de análise espacial que permitem trabalhar estes dados a fim de obter respostas aos questionamentos dos problemas que podem ser espacializados e mecanismos de formatação de seus produtos finais, geralmente informação espacializada em forma de mapas. Entretanto um dos grandes diferenciais desses sistemas é a possibilidade de trabalhar com dados de diferentes origens, característica que aumenta a abrangência e o potencial desta tecnologia, ao tempo em que demanda também alguns procedimentos na obtenção e preparo dos dados.

Existem várias formas de obtenção de dados para a implementação de SIGs, estes dados podem ter origem em mapas, imagens, levantamentos de campo e outros mas é importante considerar a qualidade e aplicabilidade das informações dentro da escala de análise proposta. Burrough (1986) *apud* Mendes e Cirilo (2001) apresenta uma classificação geral de entrada de dados baseada em quatro itens: a) dados analógicos (mapas em papel, por exemplo) digitalizados; b) dados adquiridos na forma digital, como imagens de satélite; c) interpolação de dados pontuais para a geração de superfícies contínuas; d) obtenção de dados com equipes de campo.

A digitalização de dados pode ser efetuada segundo dois métodos disponíveis: digitalização manual ou automática. O método manual normalmente é utilizado quando se deseja uma digitalização seletiva que requer uma interpretação visual para a seleção das informações e pode ser efetuado com o uso de mesa digitalizadora. O método automático envolve um processo de rasterização e posterior vetorização do documento cartográfico, a rasterização é efetuada com o uso de um

*scanner*, equipamento que varre o mapa armazenando as informações em formato *raster*, e a vetorização pode ser efetuada com o auxílio de programas computacionais semi-automáticos baseados nos processos de reconhecimento de padrões que auxiliam a identificação das conexões entre pontos.

Os dados adquiridos em formato digital como as imagens de sensores orbitais, transportados pelos satélites de observação da Terra, ou sensores suborbitais, como as câmaras fotográficas aerotransportadas, demandam trabalhos de processamento digital. No caso das imagens orbitais, a sua utilização envolve correções radiométricas e geométricas, aplicações de técnicas de realce, georreferenciamento e classificação. A classificação constitui um processo de atribuição de classes aos objetos presentes na imagem o que permite importantes análises em termos de uso e ocupação do solo, expansão urbana e outros temas bastante discutidos em estudos ambientais.

Os procedimentos de interpolação são utilizados quando os dados constituem pontos isolados e representativos das características do espaço geográfico e deseja-se obter o valor daquela variável considerada em um local não amostrado mas próximo. Este procedimento baseia-se no fato de que, na média, pontos que estão próximos no espaço são mais prováveis de terem valores similares do que pontos mais afastados. Existem diversos métodos de interpolação e, segundo Lisboa Filho (1997) a qualidade dos valores calculados depende, entre outros fatores, da escolha do melhor método ou modelo matemático que retrate a realidade em questão. A interpolação reduz os levantamentos em campo que geralmente requerem investimentos elevados e muitas horas de trabalho.

A obtenção de dados através de equipes de campo compreende a realização de medições usuais e sistemáticas, preenchimento de fichas cadastrais ou utilização de equipamentos de aquisição automática de dados. Pode-se destacar o uso do GPS (*Global Positioning System*), um sistema de posicionamento geodésico baseado em uma rede de satélites. Este sistema permite o levantamento de dados em campo com alto grau de acurácia e com o registro dos dados podendo ser realizado diretamente em meio digital.

O armazenamento de dados pode ser efetuado de duas formas: em formato matricial, também chamado de *raster*, ou em formato vetorial. No primeiro caso, as

entidades estão associadas a grupos de células de mesmo valor enquanto que no segundo cada entidade do mundo real está associada a um objeto espacial. Comparando as duas formas de armazenamento da informação espacial, Lisboa Filho faz a seguinte consideração:

*“Enquanto que a representação vetorial é capaz de armazenar informações sobre entidades que podem ser identificadas univocamente no mundo real, a representação raster armazena informações sobre o conjunto de todos os pontos de uma determinada região do espaço.”* (Lisboa Filho, 1997, p. 40).

As funções que permitem o processamento de dados nos SIGs são as mais diversas, elas variam de um programa para outro não havendo para a maioria delas uma nomenclatura padrão. Na abordagem utilizada por Aronoff (1989), estas funções podem ser agrupadas em quatro categorias principais: a) manutenção de dados espaciais; b) manutenção e análise de atributos descritivos; c) análise integrada de dados espaciais e descritivos; d) formatação de saída.

As funções de manutenção de dados espaciais referem-se à fase de pré-processamento dos dados, isto é, são funções utilizadas para a preparação dos dados e envolvem transformações de formato, transformações geométricas, transformações entre projeções cartográficas, casamento de bordas, edição de elementos gráficos e redução de coordenadas. Destas, pode-se destacar a função de edição de elementos gráficos que pode ser um trabalho bastante demorado no sentido de preparar um arquivo digital que não é adequado para utilização em ambiente de SIG, neste caso, existe uma série de procedimentos a serem realizados sem os quais os dados não podem ser utilizados, por exemplo: junção de linhas, fechamento de polígonos, eliminação de objetos duplicados, eliminação textos e/ou símbolos desnecessários, etc..

A manutenção e análise de atributos descritivos envolve funções de edição desses atributos e consultas, a edição refere-se a alterações dos dados descritivos sem que os dados espaciais sejam afetados, e as consultas podem ser executadas utilizando a própria linguagem de consulta do SGBD.

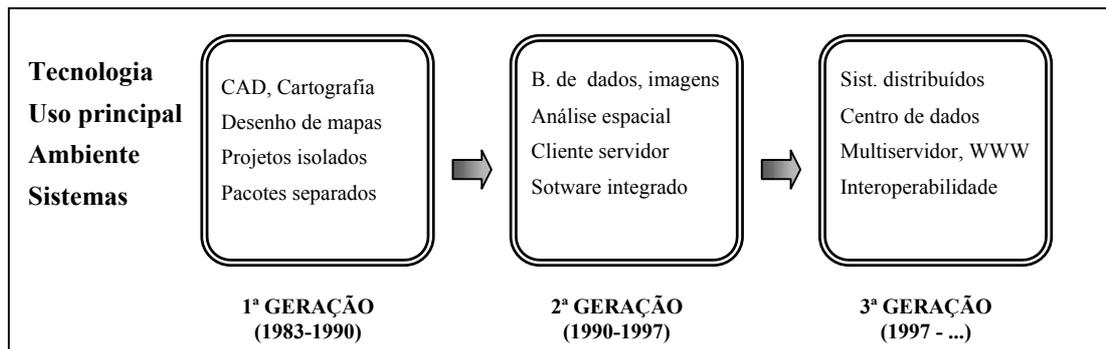
A análise integrada de dados espaciais e descritivos abrange as funções de recuperação, classificação e medidas, sobreposição de camadas, funções de vizinhança e conectividade. Entre essas podem-se destacar as funções de sobreposição de camadas,

segundo Lisboa Filho (1997) uma das mais utilizadas na análise espacial, e as funções de vizinhança e conectividade. As funções de sobreposição de camadas ou *overlay* relacionam informações de duas ou mais camadas de dados podendo executar operações aritméticas ou lógicas entre os valores das células que ocupam a mesma posição nas diferentes camadas. As funções de vizinhança são constituídas por uma série de operações que envolvem busca, identificação de objetos, por exemplo linhas ou pontos, funções topográficas e interpolações. Estas operações também são de grande importância para a análise espacial, funções topográficas são particularmente úteis em análises ambientais e são utilizadas para calcular valores que descrevem a topografia de uma determinada localização geográfica ou de uma região próxima.

As funções de formatação de saída têm como objetivo melhorar a apresentação dos produtos da análise espacial que podem ser relatórios, gráficos, mapas, etc.. Estas funções envolvem anotações em mapas (título, orientação, legendas, etc.), posicionamento dos rótulos, padrões de textura e estilos de linhas que podem ser alterados de forma a atender os padrões cartográficos e os símbolos gráficos que são utilizados para representar classes de entidades em um mapa. Alguns sistemas apresentam bibliotecas de símbolos de acordo com cada área de aplicação.

Segundo Câmara e Medeiros (1998), a tecnologia de SIG pode ser dividida em três gerações: a primeira caracterizada por sistemas herdeiros da tradição da Cartografia, com suporte limitado de bancos de dados, uma classe de sistemas utilizada principalmente em projetos isolados; a segunda geração chegou ao mercado no início da década de 1990 e caracteriza-se por ser concebida para o uso em ambientes cliente-servidor, acoplados a gerenciadores de bancos de dados relacionais e com módulos de processamento de imagens; a terceira geração surge no final da década de 1990 e caracteriza-se pelo gerenciamento de grandes bases de dados geográficos, com acesso por meio de redes locais e remotas com interface via Web, são verdadeiras “bibliotecas geográficas digitais”. A figura 2.5 mostra a evolução da tecnologia SIG em suas três gerações.

FIG. 2.5: Evolução da Tecnologia de SIG.



FONTE: Câmara e Medeiros, 1998, p. 412

As pesquisas em SIG têm sido desenvolvidas por profissionais de diversas áreas tendo em vista a multidisciplinaridade própria desta tecnologia, contudo cabe destacar a importância de pesquisas que abordam o intercâmbio de dados espaciais, dado o seu alto custo de aquisição. Segundo Lisboa Filho (1997) em países como Estados Unidos da América, Canadá e Inglaterra já existem formatos padronizados para o intercâmbio de dados espaciais. A criação desses Centros de Dados Geográficos viabilizaria inúmeros projetos, de modo especial os desenvolvidos por instituições públicas onde a falta de verba e os entraves burocráticos para a cedência de dados muitas vezes inviabilizam bons projetos que resultariam em benefícios para boa parte da sociedade.

## 2.6.2 SENSORIAMENTO REMOTO

Sensoriamento remoto é definido, segundo Swain e Davis (1978), como sendo “a técnica que permite a aquisição de informações sobre a natureza dos objetos sem contato físico com os mesmos”, no entanto Mendes e Cirillo (2001) consideram esta definição muito ampla e adotam o conceito que restringe o sensoriamento remoto aos métodos que utilizam energia eletromagnética na detecção e medida dos elementos que compõem a superfície terrestre e a atmosfera. Novo faz a seguinte definição:

*“Sensoriamento Remoto é a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações.”* (Novo, 1992, p. 02)

A origem do Sensoriamento Remoto é, por alguns autores, associada ao surgimento da fotografia aérea e o seu desenvolvimento vinculado ao uso militar dessa tecnologia. Florenzano (2002) divide a história do sensoriamento remoto em dois períodos: - 1860 a 1960, baseado no uso de fotografias aéreas; - 1960 até os dias atuais, caracterizado por uma grande variedade de tipos de fotografias e imagens. Segundo ela, a primeira fotografia aérea data de 1856 e foi tirada de um balão, a partir de 1909, inicia-se a fotografia tomada por aviões cujo uso foi intensificado na primeira Grande Guerra Mundial. Na segunda Grande Guerra Mundial foi desenvolvido o filme infravermelho com o objetivo de detectar camuflagem e foi introduzido o uso do radar.

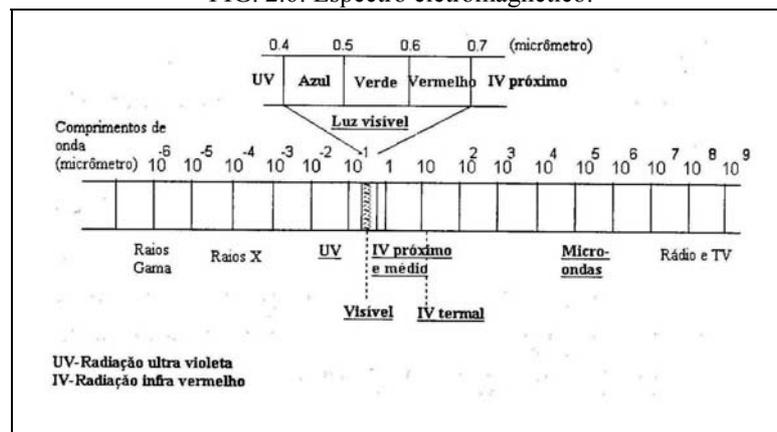
Na década de 1960 foram obtidas as primeiras fotografias orbitais da superfície da Terra pelos satélites tripulados Mercury, Gemini e Apolo; começaram também os primeiros registros sistemáticos de imagens da Terra através dos satélites meteorológicos da série TIROS. Em julho de 1972 foi lançado o satélite de recursos terrestres EARTH-1, mais tarde denominado de LANDSAT-1, o primeiro de uma série de sete satélites americanos destinados à observação da Terra. Posteriormente, com a evolução dos sistemas sensores, tornou-se possível aumentar a qualidade e o nível de detalhe das imagens orbitais, evoluindo de uma resolução espacial de 80 metros para até alguns centímetros e dos quatro canais do LANDSAT-1 para os atuais sensores hiperspectrais que para cada elemento de resolução são capazes de registrar a radiação refletida pelos alvos em 200 ou mais bandas espectrais, o que aumenta a chance de sucesso em identificar diferenças espectrais entre dois alvos.

Entre os satélites atualmente utilizados para a coleta de dados de recursos naturais podem-se destacar: os da série americana LANDSAT (LANDSAT-5 e LANDSAT-7), os franceses da série SPOT, os da série IKONOS, os israelenses da série EROS, o satélite TERRA com os sensores CERES, MOPITT, MISR, MODIS e ASTER, o satélite QUICKBIRD e os satélites sino-brasileiros da série CBERS. O programa CBERS - Chine-Brazil Earth Resources Satellite é o resultado da cooperação técnica entre Brasil e China para a construção de satélites de sensoriamento remoto de recursos terrestres. O CBERS-1 foi lançado no dia 14 de outubro de 1999 e o CBERS-2 no dia 21 de outubro de 2003, eles têm características semelhantes aos das séries LANDSAT e SPOT, levando a bordo três tipos de sensores: uma câmara CCD, um varredor multiespectral infravermelho (IR-MSS) e um imageador de visada larga (WFI).

O aumento dos satélites em órbita da Terra deu origem a um grande volume de dados cujo tratamento já não podia ser efetuado pelos métodos convencionais de análise visual de imagens, o que teve como consequência o aprimoramento dos programas computacionais impulsionado pelos avanços na área de *hardware*. A respeito da evolução dos sistemas computacionais no tratamento de imagens orbitais, Moreira (2003) afirma: “...os grandes computadores que “tratavam” os dados de satélites foram infinitamente reduzidos e transformados em microcomputadores com grande capacidade de processamento e de armazenamento de dados.”

A base física do sensoriamento remoto é a transferência de energia eletromagnética. Esta energia pode ter origem em uma fonte natural ou artificial, propaga-se por radiação e, ao atingir alvos sobre a superfície terrestre, pode ser absorvida, refletida, transmitida ou emitida por eles seletivamente. Esta tecnologia fundamenta-se na detecção das alterações sofridas pela radiação eletromagnética quando de sua interação com alvos sobre a superfície terrestre considerando as diferentes regiões do espectro eletromagnético. Conforme apresenta a figura 2.6, o espectro eletromagnético representa a distribuição da radiação eletromagnética, por regiões, segundo o comprimento de onda e a frequência, abrangendo desde curtos comprimentos de onda e altas frequências como os raios gama até longos comprimentos de onda e baixas frequências como as ondas de rádio.

FIG. 2.6: Espectro eletromagnético.

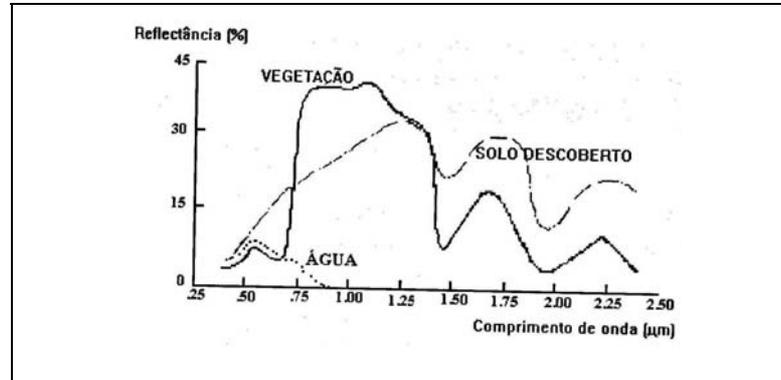


FONTE: Mendes e Cirilo, 2001, p. 192.

Os objetos sobre a superfície terrestre absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam de acordo com a região do espectro eletromagnético de acordo com as suas características bio-físico-químicas, estas variações podem ser representadas através de curvas espectrais, segundo Mendes e Cirilo (2001): “O objetivo do entendimento das curvas de resposta espectral é obter

informações sobre a natureza e o estado dos alvos da superfície terrestre, através de comprimentos de onda específicos.” A figura 2.7 apresenta as curvas espectrais da vegetação, água e solo.

FIG. 2.7: Curva espectral da vegetação, da água e do solo.



FONTE: Mendes e Cirilo, 2001, p. 199.

Os sistemas sensores podem ser caracterizados segundo quatro domínios de resolução: espectral, espacial ou geométrica, temporal e radiométrica. A resolução espectral é definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda, a resolução espacial ou geométrica, segundo Crosta (1992), é definida pela capacidade do sistema sensor em “enxergar” objetos na superfície terrestre, a resolução temporal refere-se ao intervalo de tempo entre as tomadas de imagens de uma mesma área e a resolução radiométrica é dada pelo número de níveis digitais, representando níveis de cinza, usados para expressar os dados coletados no sensor.

Segundo Mendes e Cirilo (2001), a informação resultante do processo de aquisição de dados constitui uma imagem digital que pode ser descrita por uma função  $f(x,y)$ , onde  $x$  e  $y$  representam as coordenadas espaciais sobre a imagem e  $f(x,y)$  uma quantidade de energia eletromagnética que atinge o sensor, dentro de uma determinada banda espectral, esta quantidade de energia é representada pelo nível de cinza ou, do inglês, *digital number* (DN). Uma imagem digital pode ser, portanto, representada por uma matriz onde cada elemento possui um valor digital, este conceito é a base das operações de tratamento e classificação das imagens digitais.

As operações de tratamento e classificação das imagens digitais podem ser divididas em operações de pré-processamento, realce e classificação. O pré-processamento refere-se a calibração radiométrica da imagem, correção de distorções

geométricas e remoção de ruídos. O realce tem por objetivo melhorar a qualidade da imagem, permitindo uma melhor discriminação dos objetos e a classificação busca atribuir classes aos objetos da imagem no sentido de facilitar as operações de análise espacial. Segundo Mendes e Cirilo (2001) o objetivo final dessas operações é o de criar uma nova imagem, a partir da imagem original, que aumente a quantidade de informações que podem ser extraídas.

Existem diversas técnicas para efetuar estas operações, segundo Moreira (2003) os primeiros sistemas desenvolvidos eram voltados exclusivamente para a extração direta de informações das imagens não utilizando a experiência do fotointérprete, segundo ele foi somente a partir da década de 1980 que os objetivos do processamento dos dados digitais passaram a ser mais abrangentes, associando aos dados das imagens também informações geocodificadas e criando programas interativos nos quais o analista pode utilizar sua experiência e até manipular os resultados da classificação.

Atualmente, a utilização de imagens orbitais é bastante diversificada, contudo cabe destacar sua importância no estudo dos fenômenos ambientais. Nesta área, devido ao grande número de variáveis envolvidas nos fenômenos e à complexidade de suas interações, necessita-se, cada vez mais, do uso de tecnologias dinâmicas que ofereçam um potencial a ser explorado e que permitam a integração com outras formas de análise como é o caso dos Sistemas de Informações Geográficas. Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos para o monitoramento ambiental: focos de incêndio e áreas queimadas, desmatamento, erosão e escorregamento de encostas, inundações, exploração excessiva dos recursos naturais como mineração ou retirada de areia dos rios, etc.. As imagens conseguem com rapidez cobrir extensas áreas reduzindo consideravelmente os trabalhos em campo permitindo também, devido ao seu aspecto multitemporal, estudos de evolução das condições ambientais bem como avaliações dos níveis de interferência humana nos ambientes.

Segundo Moreira (2003) o sensoriamento remoto *“possibilita ao homem obter outros tipos de informações acerca dos recursos naturais, além daqueles perceptíveis pelos órgãos do sentido.”* Desta forma, pode-se considerar o sensoriamento remoto como um instrumento de coleta de dados que aliado ao conhecimento da área e à experiência do técnico pode fornecer subsídios para uma análise abrangente de

determinado local ou fenômeno. Esta tecnologia é, na verdade, mais uma ferramenta que o homem criou e continua desenvolvendo para auxiliá-lo no manejo e preservação do meio ambiente, em sua busca pelo equilíbrio entre a exploração e a preservação dos recursos naturais.

### 2.6.3 TÉCNICAS INTEGRADAS DE SIG E SENSORIAMENTO REMOTO

Os Sistemas de Informações Geográficas têm como importante característica a capacidade de agregar dados de diferentes fontes e escalas que podem ser manipulados de forma a permitir operações de análise espacial de naturezas diversas. O levantamento e a aquisição de dados constitui uma fase de grande importância para o bom desempenho de um SIG e não pode ser considerada como uma tarefa simples pois, na maioria das vezes, exige operações para corrigir e padronizar os dados com relação a projeções, escalas e sistemas de coordenadas. Segundo Aronoff (1989) *“o custo inicial da construção da base de dados é, normalmente, um dos principais componentes do custo total de implantação de um SIG”*.

Uma fonte importante e imprescindível de dados em SIG são os levantamentos em campo que utilizam técnicas tradicionais envolvendo reconhecimento de feições, levantamentos cadastrais, coleta de pontos e outros procedimentos que costumam ser lentos e caros. Neste sentido, o sensoriamento remoto como sistema de aquisição de dados em SIG reduz o uso das técnicas tradicionais de levantamentos em campo, mostrando-se uma importante ferramenta. Analisando as técnicas tradicionais de aquisição de dados de natureza ambiental em SIG frente ao sensoriamento remoto, Mendes e Cirilo afirmam:

*“As técnicas tradicionais de obtenção destes dados em campo são lentas, caras e impraticáveis, principalmente em regiões de difícil acesso e quando há necessidade de coleta de dados freqüentes (semanais e/ou quinzenais) por longos períodos de tempo. Por isso o sensoriamento remoto se tornou um instrumento de fundamental importância.”* (Mendes e Cirilo, 2001, p. 186)

A utilização de imagens orbitais integradas aos SIGs amplia o potencial desses sistemas à medida que permite que se obtenham informações de áreas extensas a um custo menor e com maior rapidez, proporcionando ainda, estudos de longos períodos como expansão urbana, evolução do uso do solo, modificações no ambiente natural, etc.

O resultado destes estudos constitui um importante subsídio a ações de planejamento e gerenciamento, de modo especial com relação aos recursos naturais.

Além disto, a utilização das técnicas multidisciplinares de processamento digital de dados e SIG de forma integrada permite que as informações de natureza contínua obtidas através de imagens orbitais, tais como uso do solo, erosão, expansão urbana, etc., sejam analisadas interativamente com outras informações de natureza discreta tiradas dos SIGs, tais como, índice de chuvas, dados sócio-econômicos, etc.. Esta utilização conjunta abre novas dimensões para o emprego destas tecnologias, aumentando o seu potencial à medida que lhe confere uma maior abrangência e diminui o seu tempo de resposta particularmente para as questões de cunho ambiental que tanto têm inquietado o homem.

#### 2.6.4 A IMPORTÂNCIA DO GEOPROCESSAMENTO NO ESTUDO DE RECURSOS HÍDRICOS

A água está presente na maioria das atividades humanas, sua preservação frente a descontrolada exploração dos recursos naturais é fundamental a fim de garantir a manutenção da vida no planeta. Neste contexto, percebe-se que a única maneira de garantir este bem natural para as futuras gerações é implementar, de forma urgente, ações de gerenciamento e controle dos recursos hídricos. Frente à ineficácia de um monitoramento isolado das áreas críticas através de medidas pontuais, surge a necessidade de análises mais abrangentes que além de subsidiar diagnósticos ambientais também confirmam aos sistemas um caráter preditivo. Segundo Tundisi (2003), é necessário abandonar a abordagem compartimentada da questão dos recursos hídricos, adotando uma visão integrada na gestão das águas:

*“A abordagem tradicional da engenharia, que é o tratamento de água, provém da concepção de que com a tecnologia é possível tratar qualquer água e produzir água potável. Mesmo sendo verdade, os custos do tratamento tornam-se proibitivos, encarecendo demasiadamente a produção de água potável. Por outro lado, é necessário dar condições para cuidar dos mananciais e das fontes de abastecimento de água potável, assim, os cuidados no gerenciamento devem incluir da “fonte à torneira” e tratar de todo o sistema de produção de água.”* (Tundisi, 2003, p. 106)

Sabe-se que qualquer forma de planejamento ou gerenciamento envolvendo recursos hídricos não deve considerar apenas os processos físicos que ocorrem na bacia

de contribuição pois existem outros importantes fatores a serem estudados como: expansão urbana, uso do solo, fatores econômicos e sociais, etc.. Mendes e Cirilo falando a respeito do planejamento do uso das águas frente às atividades humanas, afirmam:

*“...o conhecimento, localização e distribuição das atividades antrópicas no espaço geográfico e sua variação ao longo do tempo configuram-se como um importante elemento da questão, posto que, desta forma, é possível a proposição de estratégias e ações objetivando uma melhor distribuição das atividades produtivas e de proteção dos recursos naturais.”* (Mendes e Cirilo, 2001, p. 43)

A concepção de que a bacia hidrográfica é a unidade mais apropriada para o gerenciamento dos recursos hídricos e implementação de políticas de desenvolvimento sustentável consolidou-se nos últimos dez anos e foi adotada por muitos países. No Brasil a Lei Nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 adota a bacia hidrográfica como unidade básica de planejamento e gestão. Analisando esta concepção, Tundisi (2003) afirma:

*“A bacia hidrográfica, como unidade de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, representa um avanço conceitual muito importante e integrado de ação.”* (Tundisi, 2003, p. 107)

Neste contexto, o geoprocessamento como ferramenta de análise espacial permite que sejam elaborados modelos simplificados do ambiente da bacia hidrográfica onde podem ser analisados os diferentes fatores que repercutem na quantidade ou qualidade da água e suas interações. Outra característica importante desta tecnologia é a capacidade de processamento de um grande volume de dados, o que é particularmente útil quando os estudos envolvem dados ambientais. Segundo Mendes e Cirilo:

*“Para a gestão de recursos hídricos, a interação dos processos de análise habitual com os SIG representa um avanço inequívoco, na geração de informações mais precisas e com uma enorme redução do trabalho de aquisição, organização e processamento de dados.”* (Mendes e Cirilo, 2001, p. 104)

O estudo dos recursos hídricos utilizando geoprocessamento pode fornecer importantes subsídios a atividades de monitoramento e gerenciamento de bacias hidrográficas possibilitando a implementação de políticas que visem ao uso racional da água através da otimização dos seus usos múltiplos e ações de planejamento integrado.

Tundisi, falando a respeito da integração entre pesquisa, gerenciamento e políticas públicas afirma:

*“Os novos paradigmas para o gerenciamento de recursos hídricos incluem necessariamente uma base de dados sustentada pela pesquisa científica, a fim de gerar as informações necessárias à tomada de decisões pelos gestores, e interação contínua e permanente entre gerentes e pesquisadores da área básica, vital para a implantação de políticas públicas em nível municipal, regional, estadual e federal.”* (Tundisi, 2003, p. 122)

#### 2.6.5 GEOPROCESSAMENTO APLICADO AOS RECURSOS HÍDRICOS

Nos últimos anos a questão ambiental vem ganhado expressivos espaços no campo da pesquisa científica, desde o monitoramento do meio ambiente até a busca por materiais e processos menos agressivos, passando pela recuperação de áreas degradadas. A base destas pesquisas tem sido o conhecimento do grau de interferência humana no meio ambiente e suas conseqüências. Neste sentido, as técnicas de geoprocessamento, especialmente os sistemas de informações geográficas e o sensoriamento remoto utilizados de forma integrada tem apresentado bons resultados.

O diagnóstico e o monitoramento dos problemas ambientais fornecem subsídios para ações de planejamento e gestão, além disto a informação organizada e espacializada proporciona ao gestor o benefício de uma interpretação rápida e mais abrangente. As pesquisas na área de recursos hídricos têm o objetivo de diagnosticar, monitorar e até prever a ocorrência de problemas ambientais que prejudiquem a qualidade ou quantidade de água dos mananciais seja por intervenções efetuadas diretamente no curso d'água ou por efeito de ações implementadas na bacia de drenagem.

As técnicas de geoprocessamento têm sido utilizadas para análises específicas de determinadas situações bem caracterizadas ou para análises de caráter geral. As duas situações diferem com relação aos dados processados e ao nível de complexidade das relações entre as variáveis consideradas: um problema específico deve exigir um volume menor de dados e mais homogêneo enquanto que análises gerais incorporam naturalmente um volume maior de dados de naturezas diversas, o que tende a aumentar a complexidade de suas relações.

Pode-se considerar um exemplo de análise específica o trabalho “Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais da Bacia do Arroio Candiota – RS Utilizando Sistemas de Informação Geográfica”, Streck *et al* (1999), que busca espacializar os dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais do arroio relacionados à mineração do carvão. Esta constitui uma situação de análise muito específica de determinados parâmetros de qualidade relacionados ao tema da mineração e tem por objetivo facilitar a leitura dos dados e o intercâmbio das informações, permitindo a tomada de decisão quanto ao manejo das áreas afetadas pelas atividades poluidoras. Neste trabalho foi utilizada uma base cartográfica obtida das cartas do mapeamento sistemático do exército em escala 1:50.000 e as análises de três parâmetros de qualidade da água: pH, condutividade e sulfato. O resultado é a visualização espacializada de cada um dos parâmetros com os seus valores médios. Os mapas temáticos resultantes permitem identificar com rapidez as áreas prioritárias para a aplicação de ações mitigadoras dos impactos constatados.

Outros trabalhos apesar de possuírem objetivos bastante específicos conseguem apresentar a forma geral de estruturação de um SIG desde o levantamento inicial de dados até os produtos finais. Weber *et al* (1998) ao efetuarem o estudo de caso do rio Caí no trabalho intitulado “Estruturação de Sistemas de Informação Ambiental em Bacias Hidrográficas: o Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Caí” têm como objetivo elaborar um diagnóstico da bacia através do levantamento dos principais usos do solo e da água a fim de dar aporte a implementação do enquadramento do recurso hídrico. O material utilizado constitui-se de fotografias aéreas em escala 1:40.000, cartas do mapeamento sistemático do exército em escala 1:50.000, mapa rodoviário do DAER, malha municipal digital do estado com grau de generalização compatível com a escala 1:250.000 (IBGE) e imagens de satélite LANDSAT 5 (TM). Após uma análise dos usos predominantes, considerando a ocorrência e a sua importância para a população, foi elaborada uma proposta de segmentação do curso principal do rio com o objetivo de fornecer subsídios ao enquadramento do recurso hídrico.

Alguns estudos têm por objetivo o mapeamento de riscos, neste caso os sistemas de informações geográficas e o sensoriamento remoto têm sido bastante utilizados. Exemplos interessantes são os trabalhos: “Geoprocessamento como Ferramenta de Análise de Risco ao Carreamento de Sólidos para o Rio Paraibuna em Juiz de Fora – MG”, Soares (2005), e “Desenvolvimento de uma Metodologia para

Planejamento Urbano, Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto, Modelagem Numérica do Terreno (MNT) e Sistema de Informações Geográficas (SIG)”, Valente (1995).

O primeiro trabalho buscou mapear áreas de risco ao carreamento de sólidos ao rio Paraibuna e utilizando como material cartas topográficas digitais do IBGE em escala 1:50.000, dados geológicos contidos no diagnóstico do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora de 1996 e uma imagem LANDSAT 7 (ETM+). Com base nestes dados foram elaborados os planos de informação altimetria, hidrografia, geologia e uso e ocupação do solo, após foram procedidas três diferentes formas de análise e, através de um estudo comparativo, foi definido o processo mais eficiente.

O segundo trabalho tem por objetivo a determinação de áreas de risco a ocupação urbana na bacia do arroio Feijó, na região metropolitana de Porto Alegre e utiliza como material as cartas topográficas da RMPA em escalas 1:10.000 e 1:50.000, mapas geológico e pedológico da bacia do rio Gravataí, em escala 1:50.000, e imagens LANDSAT 5 (TM). O método consiste em definir os eventos considerados perigosos, determinar as áreas de risco a partir da probabilidade de ocorrência desses eventos e efetuar o cruzamento das áreas de risco com a área urbana existente. Este estudo pode ser utilizado para subsidiar a elaboração de Planos Diretores de Desenvolvimento Integrado, direcionando a expansão urbana para áreas que apresentem menor risco.

Os dados censitários (IBGE), pela sua confiabilidade, têm sido bastante utilizados em trabalhos de avaliação ambiental, contudo esses dados requerem algumas correções para fins de compatibilização com a base cartográfica utilizada ou com relação a sua temporalidade. Uma particularidade na espacialização dos dados censitários é que a sua unidade básica de área, o setor censitário, é delimitada por critérios exclusivamente operacionais, dificultando a sua compatibilização com outras unidades de área utilizadas frequentemente em trabalhos de avaliação ambiental como por exemplo a bacia hidrográfica.

Além disto, as fronteiras dos setores censitários são geralmente modificadas a cada recenseamento, o trabalho “Compatibilização de Dados Censitários para Análises Temporais com o Auxílio de Imagens LANDSAT”, Feitosa *et al* (2005), busca a

compatibilização dos setores censitários dos censos demográficos de 1990 e 2000. O método utiliza como base imagens LANDSAT 5 (TM) e LANDSAT 7 (ETM+) classificadas para a delimitação da área urbana, o mapa do sistema viário e ortofotos da área. Foram considerados nas áreas urbanas já consolidadas os setores de 1991 e nas demais áreas os setores de 2000. A sobreposição dos setores de 1991 e 2000 e a eliminação dos polígonos espúrios usando como referência os setores de 2000, considerados mais confiáveis deu origem à base compatibilizada e através de tabelas de equivalência entre os polígonos da base compatibilizada e os setores originais foi realizada a exclusão de registros repetidos, junção de dados correspondentes e arredondamento de dados censitários ponderados. A espacialização dos resultados deu origem a dois planos de informação: um contendo a base compatibilizada associada aos dados censitários de 1991 e outro contendo a mesma base compatibilizada associada aos dados censitários de 2000. Este método possibilita trabalhar espacialmente com dados censitários de datas diferentes, muito útil para análises ambientais.

Seguindo uma linha mais geral, dentro do tema recursos hídricos existem trabalhos na área de planejamento que podem ser aplicados como suporte à gestão de bacias hidrográficas possibilitando o uso racional, o controle da qualidade ambiental e a administração de conflitos de uso. Pode-se citar o estudo de caso da bacia do córrego Bananal que faz parte do “Projeto Plano de Bacia Urbana” elaborado pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP cujos objetivos são diagnosticar a situação ambiental numa pequena bacia urbana e elaborar um projeto piloto propondo alternativas de intervenção, restauração e recuperação. Neste trabalho foram considerados diversos fatores como ocupação do solo, drenagem, infra-estrutura urbana, saneamento básico, habitação, saúde pública, aspectos legais e institucionais. O material utilizado constitui-se de imagens IKONOS com resolução espacial de 1m e 4m, fotografias aéreas digitais, modelos digitais de elevação e os planos de informação referentes ao limite da bacia, altimetria, rede hidrográfica e uso do solo.

Neste caso, o uso de um sistema de informações geográficas e do sensoriamento remoto possibilitou trabalhar com diversos mapas temáticos combinados que associados a um banco de dados alfanuméricos geraram como produtos o Mapa Síntese do Programa de Recuperação e Preservação Ambiental, o Mapa do Parque Linear e o Mapa de Risco. Esses resultados constituem um diagnóstico da área obtido

em tempo compatível com a expansão urbana, apontando alternativas de intervenção, restauração e recuperação dos locais em situação crítica.

O uso das geotecnologias tem auxiliado em ações de monitoramento, diagnóstico e gerenciamento disponibilizando resultados com um bom nível de confiabilidade, economicamente viáveis e num espaço de tempo adequado às demandas ambientais. Além disto, é importante considerar a evolução constante dessas tecnologias, através do desenvolvimento dos instrumentos de extração da informação, avanços na área de *hardware* e *software* e novas metodologias de tratamento e conversão de dados, facilitando seu emprego e permitindo que os benefícios dessas tecnologias possam atingir um número muito maior de pessoas.

### **3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

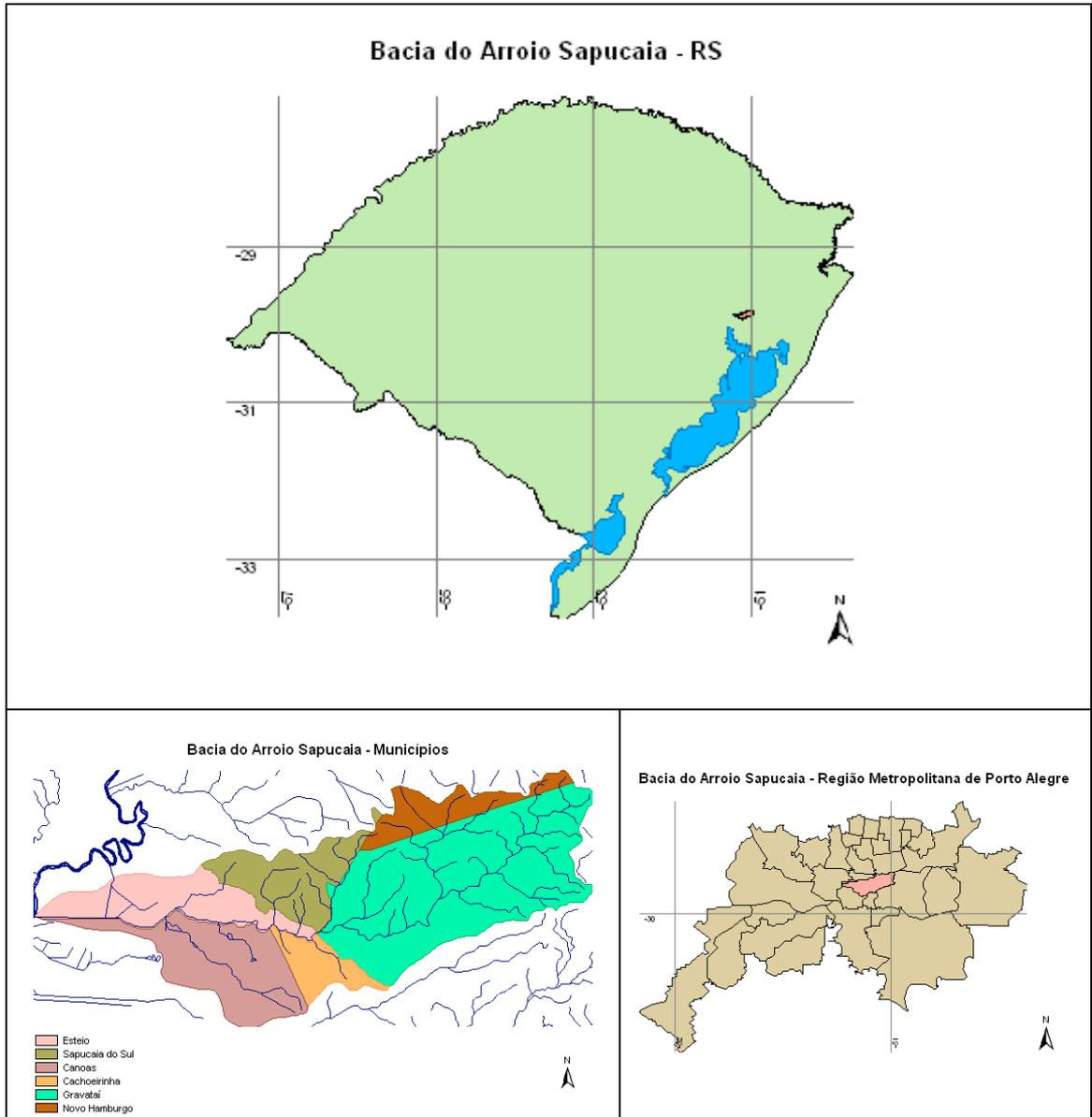
A bacia hidrográfica do arroio Sapucaia localiza-se na região norte da RMPA (Região Metropolitana de Porto Alegre), abrangendo os municípios de Canoas, Cachoeirinha, Esteio, Sapucaia do Sul, Gravataí e Novo Hamburgo, totalizando uma área de 131 km<sup>2</sup> e estendendo-se no sentido leste-oeste por cerca de 25 km desde suas nascentes localizadas sobre os morros testemunhos da Serra Geral em altitudes superiores a 300 m, como os morros Itacolomi, Agudo e Quebra-Dente até a sua foz junto ao rio dos Sinos do qual é um dos principais contribuintes da margem esquerda.

Ao norte e ao sul a área drenada pelo arroio Sapucaia faz limites com outras bacias que apresentam características similares as suas quanto à questão ambiental e urbana. No limite norte as bacias dos arroios José Joaquim e Quilombo nos municípios de Sapucaia do Sul e São Leopoldo e ao sul as bacias dos arroios Barnabé e Demétrio nos municípios de Alvorada, Gravataí e Viamão. No leste os Patamares da Serra Geral e a oeste o rio dos Sinos. Compreendendo dessa forma as áreas localizadas entre as longitudes 50°58'34"W, 51°13'12"W e latitudes 29°48'12"S, 29°53'12"S.

A bacia do arroio Sapucaia apresenta um padrão de drenagem dendrítico sendo formada por inúmeros arroios, entre os quais destacam-se os arroios Ipiranga, da Pedra, Passo Fundo, Moinho, Guajuviras e Esteio, além de alguns canais artificiais. Essa bacia possui um regime de escoamento exorreico com o exutório de seu canal principal junto a margem esquerda do rio dos Sinos na divisa dos municípios de Esteio e Canoas, local onde seu leito foi retificado.

A figura 3.1 apresenta a localização da bacia do arroio Sapucaia no estado do Rio Grande do Sul, destacando a sua posição de centralidade em relação a Região Metropolitana de Porto Alegre, bem como sua proximidade da capital e a dimensão da área ocupada pela bacia de drenagem em uma faixa de transição entre a depressão e o planalto.

FIG. 3.1: Localização da Bacia do Arroio Sapucaia



FONTE: Mapa base obtido em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) (escala 1:5.000.000) e detalhamento da bacia obtido da folhas de São Leopoldo e Gravataí da Cartografia Sistemática Brasileira (escala 1:50.000).

Ao longo do percurso de cerca de 35 km de extensão o arroio Sapucaia apresenta um gradiente superior aos 300 metros decorrente do seu perfil topográfico o qual se caracteriza por sua divisão em três níveis que correspondem as unidades geomorfológicas descritas pelo projeto RADAMBRASIL (IBGE/1986), que são identificadas nesta região, sendo possível observar alguns aspectos dessas unidades nas figuras 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5.

FIG. 3.2: Arroio Sapucaia próximo a nascente.



FIG. 3.3: Relevo da região – planície e patamares.



FIG. 3.4: Relevo da região – morro testemunho.



FIG. 3.5: Arroio Sapucaia próximo a foz.



FONTE: fotos do autor em 26/03/2005.

O primeiro nível apresenta altitudes sempre superiores aos 100 m estendendo-se até os pontos mais elevados junto as nascentes da bacia acima dos 300m, apresenta um terreno bastante movimentado e declivoso o que corresponde a unidade dos Patamares da Serra Geral que é caracterizada na área de estudo pela presença de uma série de morros testemunhos e por formas rebaixadas e contínuas decorrentes de um processo de dissecação mais intenso. O segundo nível abrange as áreas com altitudes entre 10 m até os 100 m apresentando terrenos estáveis e com pouca declividade e por isso mesmo concentrando nesta faixa boa parte da população residente na área da bacia, corresponde por sua vez a unidade Depressão do Rio Jacuí. O terceiro nível é constituído por uma área de várzea localizada abaixo dos 10 m até a planície de inundação do rio dos Sinos, correspondendo a unidade Planície Lagunar, na área da bacia do arroio Sapucaia estes terrenos são em grande parte utilizados para a orizicultura.

O clima na área da bacia, segundo estudo da Metroplan (2001), corresponde na classificação climática de Köppen ao mesotérmico do tipo Cfa, ou seja, sem estação seca com chuvas distribuídas durante todo o ano e com temperatura média no mês mais quente superior a 22°C e temperatura média anual igual ou superior a 18°C. Ainda segundo este estudo as características fitossociológicas da área da bacia do arroio

Sapucaia encontram-se profundamente influenciadas pelas ações antrópicas. A silvicultura é uma atividade bastante difundida sobretudo de eucalipto (*Eucalyptus spp*), geralmente a disposição destas árvores permite o desenvolvimento de um sub-bosque onde há o predomínio de espécies nativas. Junto às nascentes ainda há resíduos de florestas nativas sobretudo nas encostas de morros e ao longo dos canais fluviais verifica-se uma estreita faixa de mata ciliar. As atividades agrícolas ocorrem a oeste e a leste da área urbana, a oeste a prática intensiva da orizicultura e a leste, junto às áreas de nascentes, há o predomínio de pequenas propriedades onde a silvicultura representa uma prática alternativa. Contudo em todas estas áreas a pressão da expansão urbana é muito forte.

O processo de ocupação da bacia do arroio Sapucaia sempre foi muito intenso havendo desde o início ênfase no aproveitamento dos recursos hídricos como fator de desenvolvimento, pois foi a partir do aproveitamento do rio dos Sinos como via navegável entre os portos de São Leopoldo e Porto Alegre que se iniciou a ocupação das áreas às margens desse rio as quais atualmente correspondem aos municípios de Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul. Neste aspecto, Tramontini afirma:

*“o rio foi o centro da colônia e a escolha pela fixação inicial em São Leopoldo se deu porque apresentava o local ideal para um porto. O sinos era a via de transporte que ligava com Porto Alegre, permitindo a chegada dos produtos necessários para vida na colônia e, principalmente, o escoamento da produção.”*  
(Comitesinos, 2005)

Ainda hoje, as águas da bacia do Sinos desempenham um papel fundamental para o desenvolvimento da região, utilizadas sobretudo para fins de abastecimento público, irrigação e diluição de efluentes domésticos, pluviais e industriais, enquanto em seus contribuintes, como aqueles da bacia do arroio Sapucaia, a utilização principal restringe-se a deposição de efluentes de todo o tipo. Desta forma, esses mananciais estão sujeitos a um acelerado processo de deterioração da qualidade de suas águas.

A bacia do arroio Sapucaia é constituída por uma extensa e populosa área urbana que faz parte da RMPA, abrangendo toda a porção urbana do município de Esteio, a Zona norte do município de Canoas e boa parte da malha urbana de Sapucaia do Sul, bem como núcleos isolados e de expansão urbana dos municípios de Cachoeirinha, Gravataí e Novo Hamburgo.

Do ponto de vista econômico a região caracteriza-se pelo fato de abrigar um diversificado parque industrial, conforme se observa nas figuras 3.6. e 3.7, tendo relevância as instalações da REFAP (Refinaria Alberto Pasqualini), Areva T&D do Brasil, os terminais ferroviários da ALL (América Latina Logística), os centros de distribuição de combustíveis da Petróleos Ipiranga e da Schell, e o pólo de distribuidores de gás butano, localizados nas margens dos arroios Sapucaia e Guajuviras; as instalações do Grupo Votorantin e Bettanin ao longo da BR 116 em Esteio, além daquelas localizadas ao longo da RS 118 como a Souza Cruz e no distrito industrial de Cachoeirinha.

FIG. 3.6.e 3.7: Parque industrial situado próximo à foz do arroio Sapucaia.



FONTE: foto do autor em 26/03/2005.

Em conseqüência dessa concentração industrial a bacia do arroio Sapucaia é cruzada por importantes vias de transporte como a estrada BR 116 que interliga o eixo norte da RMPA, bem como a linha do metro de superfície da Trensurb que transporta milhares de pessoas diariamente entre as cidades da região e Porto Alegre, o que revela também o aspecto de cidades-dormitórios dos municípios que compõem a bacia sendo fornecedores de mão-de-obra para a grande metrópole. Outra importante via que merece destaque é a estrada RS 118 que interliga a bacia ao litoral e a região serrana do estado.

No que se refere ao desenvolvimento social, segundo a apuração do censo 2000 pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), os municípios que compõem a bacia do arroio Sapucaia ostentam bons níveis de desenvolvimento humano de acordo com os parâmetros do IDH-PNUD, conforme se observa na Tabela 3.1, sendo classificados como de alto desenvolvimento humano.

TABELA 3.1: Níveis de desenvolvimento humano na bacia do arroio Sapucaia

Municípios	IDH-M	Posição no RS	Posição no Brasil
Cachoeirinha	0,813	106 <sup>a</sup>	316 <sup>a</sup>
Canoas	0,815	96 <sup>a</sup>	288 <sup>a</sup>
Esteio	0,842	16 <sup>a</sup>	58 <sup>a</sup>
Gravataí	0,811	119 <sup>a</sup>	356 <sup>a</sup>
Novo Hamburgo	0,809	123 <sup>a</sup>	385 <sup>a</sup>
Sapucaia do Sul	0,806	142 <sup>a</sup>	444 <sup>a</sup>

FONTE: Censo 2000/IBGE

Apesar dos índices favoráveis é possível serem constatadas na bacia do arroio Sapucaia diversas áreas marginalizadas que se encontram abaixo dos níveis de desenvolvimento social e econômico apontados pelo IDH, como é possível observar nas figuras 3.8 e 3.9; nessas áreas há carência de serviços essenciais de toda ordem ocasionando a exposição dessas comunidades ao que se define neste estudo de risco sócio-ambiental.

FIG. 3.8 e 3.9: Aspectos da degradação sócio-ambiental.



FONTE: fotos do autor em 07/07/2004.

Neste aspecto, na área focalizada nesse estudo os problemas de natureza social, ambiental e econômicos que se apresentam mais desafiadores para a região consistem na necessidade de ampliar a geração de renda bem como melhorar a sua distribuição e viabilizar soluções adequadas do ponto de vista sanitário voltadas para o tratamento dos esgotos cloacais nas cidades de Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho propõe uma avaliação que toma por base a cartografia em escala 1:50.000, dados censitários, levantamentos de campo e dados de uso do solo obtidos a partir de uma imagem orbital com resolução espacial compatível com a escala de trabalho, portanto pretende ser um método de resposta rápida e baixo custo.

O método constitui-se de uma série de etapas desde o preparo da base e o tratamento da imagem até os cruzamentos dos planos de informação, não exige *hardware* de alto desempenho ou *software* de alto custo e pode ser aplicado para bacias hidrográficas em áreas urbanas como aporte ao gerenciamento de recursos hídricos e planejamento ambiental nos municípios.

### 4.1 MATERIAIS

Na elaboração do presente trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Cartas 1:50.000 da Cartografia Sistemática Brasileira, elaboradas pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército, folhas de São Leopoldo – MI 2970/4 e Gravataí – MI 2971/3 com Datum horizontal Córrego Alegre-MG e Datum vertical Marégrafo de Torres;
- Imagem do sensor ASTER (plataforma EOS/TERRA) obtida em 03/02/2001, 14 bandas, utilizadas 1, 2 e 3N;
- Dados do censo demográfico 2000 do IBGE – Resultados do Universo, dos municípios de Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul.
- Software: IDRISI 32 – Release Two; CartaLinx 1.2; ENVI 4.0; ArcGis 8.0; AutoCad Map 2000®; ESTATCART 2.0; GPS Track Maker PRO 3.4; PHOTOSHOP 2000; ACCESS 97; EXCEL 97.
- Hardware: Microcomputador PENTIUM 4, 2.4 GHz, 512 MB RAM; Scanner Canon A-4; Impressora Lexmark Z32; GPS eTrex Vista com precisão melhor que 15 m.

## 4.2 MÉTODOS

Na avaliação dos fatores de risco potencial à qualidade das águas do arroio Sapucaia o presente trabalho propõe considerar os aspectos físicos e o uso do solo em toda a área da bacia e as condições de desenvolvimento humano e saneamento nas áreas onde se encontra a maior parte da população. Estes dados serão analisados separadamente e de forma conjunta através do cruzamento das informações utilizando o potencial da ferramenta SIG para avaliar os desdobramentos de alguns fatores de risco. Os quatro temas encontram-se detalhados e justificados a seguir.

### A) ASPECTOS FÍSICOS DA BACIA

As análises morfométricas envolvem estudos de área, distribuição espacial dos canais e suas relações, através destas análises e com o conhecimento de alguns índices como a densidade de drenagem, relação de bifurcação, extensão do percurso superficial, e o próprio índice de rugosidade, é possível caracterizar melhor a bacia hidrográfica e ter um maior conhecimento a respeito da geomorfologia da região e dos processos que ali ocorrem.

Um problema bastante comum que afeta a maioria das bacias hidrográficas em áreas urbanas decorre de processos erosivos que podem gerar um excesso de sedimentos que, uma vez lançados nos canais, causam o aumento da turbidez na água e até mesmo o assoreamento com redução da seção de escoamento, alterando significativamente a qualidade da água. Ao avaliar as condições do relevo pode-se considerar o índice de rugosidade ( $I_r$ ) como um indicador de risco de processos erosivos, desta forma, por este critério, regiões com um  $I_r$  mais elevado são potencialmente sujeitas à erosão. Para avaliar este índice a bacia hidrográfica foi dividida em nove sub-bacias que tiveram seus índices calculados separadamente sendo após comparados entre si e com o  $I_r$  da bacia como um todo.

### B) USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA ÁREA DA BACIA

O principal objetivo desta avaliação é identificar na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia “áreas de conflito de uso”, ou seja, áreas de preservação permanente relacionadas aos recursos hídricos de acordo com a legislação federal mas que encontram-se ocupadas. Também é analisada a relação entre o índice de rugosidade e os usos predominantes do solo para cada sub-bacia. As áreas de “conflito de uso” foram identificadas através de operações de análise espacial nas quais efetuou-se o cruzamento

das áreas de preservação permanente definidas com as classes de uso do solo identificadas através da classificação da imagem.

Inicialmente foram definidas as áreas de preservação permanente tomando por base os parâmetros estabelecidos na legislação, após efetuou-se o cruzamento das informações destas áreas com as classes de uso do solo: área urbana, solo cultivado, solo exposto e solo em preparo. Desta forma foi possível identificar as áreas irregularmente ocupadas e o tipo de uso do solo nestas áreas, se de natureza urbana ou agrícola.

A LEI Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 – Código Florestal, e a LEI Nº 7.803, de 18 de julho de 1989 – altera o Código Florestal, assim definem as áreas de preservação permanente:

- LEI Nº 4771, de 15 de setembro de 1965 – Código Florestal, alterada pela LEI Nº 7.803 de 18 de julho de 1989.

*“Art. 1º As florestas existentes no território nacional e as demais formas de vegetação, reconhecidas de utilidade às terras que revestem, são bens de interesse comum a todos os habitantes do País, exercendo-se os direitos de propriedade, com as limitações que a legislação em geral e especialmente esta Lei estabelecem.*

*Parágrafo único - As ações ou omissões contrárias às disposições deste Código na utilização e exploração das florestas são consideradas uso nocivo da propriedade (art. 302, XI b, do Código de Processo Civil).*

*Art. 2º Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:*

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

*1 - de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;*

*2 - de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;*

*3 - de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;*

*4 - de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;*

*5 - de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;*

*b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;*

*c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;*

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

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

- f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;  
 g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;  
 h) em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação.

*Parágrafo único.* No caso de áreas urbanas, assim entendidas as compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal, e nas regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, em todo o território abrangido, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso do solo, respeitados os princípios e limites a que se refere este artigo.

*Art. 3º* Consideram-se, ainda, de preservação permanentes, quando assim declaradas por ato do Poder Público, as florestas e demais formas de vegetação natural destinadas:

- a) a atenuar a erosão das terras;  
 b) a fixar as dunas;  
 c) a formar faixas de proteção ao longo de rodovias e ferrovias;  
 d) a auxiliar a defesa do território nacional a critério das autoridades militares;  
 e) a proteger sítios de excepcional beleza ou de valor científico ou histórico;  
 f) a asilar exemplares da fauna ou flora ameaçados de extinção;  
 g) a manter o ambiente necessário à vida das populações silvícolas;  
 h) a assegurar condições de bem-estar público.

§ 1º A supressão total ou parcial de florestas de preservação permanente só será admitida com prévia autorização do Poder Executivo Federal, quando for necessária à execução de obras, planos, atividades ou projetos de utilidade pública ou interesse social.

§ 2º As florestas que integram o Patrimônio Indígena ficam sujeitas ao regime de preservação permanente (letra g) pelo só efeito desta Lei.”

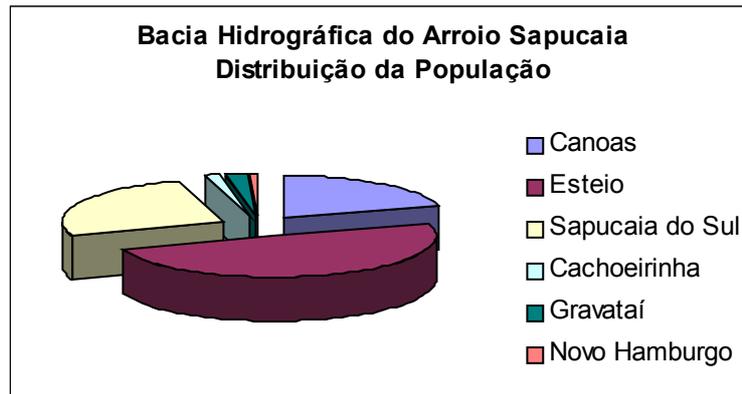
Desta forma, para delimitar as áreas de preservação permanente neste trabalho foram utilizados os seguintes critérios:

- 30 m ao longo de cursos d'água;
- 30 m em torno de corpos d'água;
- 50 m em torno das nascentes;
- declividade igual ou superior a 45%.

#### C) CONDIÇÕES DE DESENVOLVIMENTO HUMANO

A avaliação da condição de desenvolvimento humano envolve a adaptação do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDH-M do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD aos dados obtidos junto ao IBGE referentes aos resultados do Censo Demográfico 2000 (questionário universal). Esta avaliação abrange os municípios de Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul tendo em vista que eles totalizam aproximadamente 95% da população da bacia. Segundo dados do IBGE de 1996, a bacia hidrográfica do arroio Sapucaia tem sua população distribuída como apresenta a figura 4.1.

FIG. 4.1: Distribuição da população na bacia do arroio Sapucaia.



A tabela 4.1 discrimina o número de habitantes por município e o percentual com relação à população total da bacia.

TABELA 4.1: Distribuição da população na bacia do arroio Sapucaia - 1996

MUNICÍPIO	Nº HABITANTES	% POPULAÇÃO DA BACIA
Canoas	28964	20,28
Esteio	69891	48,94
Sapucaia do Sul	37438	26,21
Cachoeirinha	2059	1,44
Gravataí	3136	2,20
Novo Hamburgo	1331	0,93

FONTE: Censo Demográfico IBGE, 1996.

Para o cálculo do índice adaptado do IDH-M aqui simplesmente chamado de IDH é necessário ter presentes alguns conceitos importantes a respeito dos dados coletados retirados da Metodologia do Censo Demográfico 2000 conforme segue:

a) Unidade territorial de coleta (setor censitário)

É a unidade de controle cadastral formada por área contínua, situada em um único quadro urbano ou rural, com dimensão e número de domicílios ou de estabelecimentos que permitam levantamento das informações por um único agente credenciado, segundo cronograma estabelecido.

b) Alfabetização

Considerou-se como alfabetizada a pessoa capaz de ler e escrever um bilhete simples no idioma que conhecia. Aquela que aprendeu a ler e escrever, mas esqueceu, e a que apenas assinava o próprio nome foi considerada analfabeta.

c) Idade

A investigação da idade da pessoa foi feita da seguinte forma:

- pela pesquisa: do mês e ano do nascimento;
- pela declaração da idade que tinha em 31 de julho de 2000, somente para quem respondeu o mês e ano do nascimento; nesse caso, foi pesquisado o número de anos ou meses completos, respectivamente, para as pessoas com idades superiores ou inferiores a um ano; para o recém-nascido, com menos de um mês de vida, considerou-se a idade zero; e pela idade presumida para a pessoa que não sabia o mês ou o ano do nascimento.

De acordo com os dados do Censo Demográfico 2000 os setores censitários destes três municípios que fazem parte da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia totalizam 140.337 habitantes e 40.366 domicílios particulares permanentes.

D) CONDIÇÕES DE SANEAMENTO

Com o objetivo de avaliar as condições de saneamento foi elaborado um índice específico: o Índice de Saneamento Ambiental – ISA que foi aplicado a exemplo do IDH também nos municípios de Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul e utiliza os dados do Censo Demográfico 2000. A criação deste índice deve-se a importância que o saneamento representa em questões relacionadas aos recursos hídricos mais notadamente em áreas densamente urbanizadas. Com relação ao saneamento também existem alguns conceitos importantes no que se refere à coleta de dados do censo os quais são abaixo apresentados:

- a) Domicílio particular permanente: domicílio que foi construído para servir exclusivamente à habitação e, na data de referência, tinha finalidade de servir de moradia a uma ou mais pessoas; sendo considerados também domicílios localizados em estabelecimentos institucionais como hospitais, leprosários, asilos, mosteiros, quartéis, escolas, prisões e assemelhados ocupados por seus empregados ou por militares.
- b) Forma de abastecimento de água: as formas de abastecimento de água dos domicílios foram assim classificadas:

- b.1) Rede geral: quando o domicílio, ou o terreno ou a propriedade em que estava localizado, estava ligado à rede geral de abastecimento de água;
- b.2) Poço ou nascente: quando o domicílio era servido por água de poço ou nascente, localizado no terreno ou propriedade em que estava construído o domicílio;
- b.3) Outra: quando o domicílio era servido por água de poço ou nascente localizado fora do terreno ou da propriedade em que estava construído ou quando o domicílio era servido de água de reservatório, abastecido com água das chuvas, por carro-pipa ou, ainda, por poço ou nascentes localizados fora do terreno ou da propriedade em que estava construído.
- c) Banheiro: o cômodo do domicílio particular permanente que, na data de referência, dispunha de chuveiro ou banheira e aparelho sanitário, e era de uso exclusivo dos moradores do domicílio.
- d) Sanitário: o local, no terreno ou na propriedade onde se localizava o domicílio, limitado por paredes de qualquer material, coberto ou não por um teto, que dispunha de aparelho sanitário ou de buraco para dejeções.
- e) Tipo de esgotamento sanitário: os tipos de esgotamento sanitário dos domicílios com banheiro ou sanitário foram assim classificados:
- e.1) Rede geral de esgoto ou pluvial: quando a canalização das águas servidas e dos dejetos do banheiro ou sanitário estava ligada a um sistema de coleta que o conduzia a um escoadouro geral da área, região ou município, mesmo sem estação de tratamento de esgoto;
- e.2) Fossa séptica: quando a canalização do banheiro ou sanitário estava ligada a uma fossa séptica, sendo ou não a parte líquida conduzida a um desaguadouro geral;
- e.3) Fossa rudimentar: quando o banheiro ou sanitário estava ligado a uma fossa rústica;
- e.4) Vala: quando o banheiro ou sanitário estava ligado diretamente a uma vala a céu aberto;

e.5) Rio, lago ou mar: quando o banheiro ou sanitário estava ligado diretamente a um rio, lago ou mar;

e.6) Outro escoadouro: quando o escoadouro dos dejetos provenientes do banheiro ou sanitário fosse diferente dos descritos acima.

f) Destino do lixo: o destino do lixo proveniente do domicílio particular permanente foi classificado como:

f.1) Coletado: coletado por serviço de limpeza ou em caçamba de serviço de limpeza;

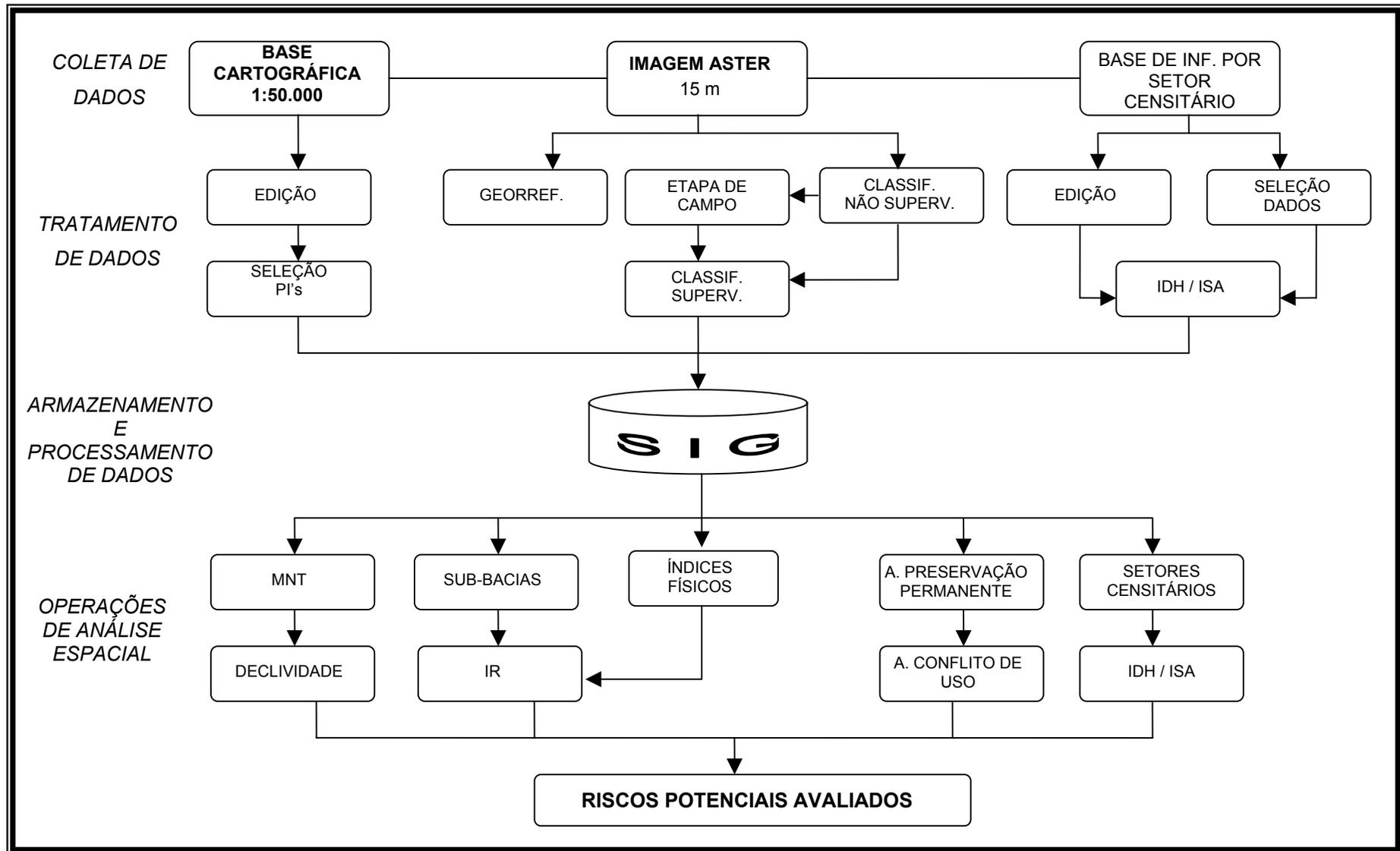
f.2) Não coletado: queimado na propriedade, enterrado na propriedade, jogado em terreno baldio ou logradouro, jogado em rio, lago ou mar, ou outro destino que não os anteriores.

De acordo com os dados do censo demográfico de 2000 os setores censitários destes três municípios que fazem parte da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia totalizam 40.366 domicílios particulares permanentes.

#### 4.2.1 ETAPAS DE TRABALHO

Após um levantamento preliminar de dados que envolveu pesquisa bibliográfica, visita às prefeituras dos municípios e órgãos públicos relacionados ao meio ambiente e saneamento foi efetuado o reconhecimento da área de estudo através de uma visita local com o objetivo de avaliar de forma preliminar as condições ambientais, a distribuição da população, o uso do solo e as atividades econômicas relevantes na área da bacia. Foi efetuado também um levantamento fotográfico da região. A seguir, foram definidas as etapas de trabalho que ficaram assim constituídas: preparação da base cartográfica, preparação dos setores censitários, análise morfométrica da bacia hidrográfica, elaboração dos índices, elaboração do modelo numérico do terreno, georreferenciamento e classificação da imagem e operações de análise espacial. Essas etapas são apresentadas na figura 4.2 na qual pode-se observar o fluxograma de desenvolvimento do trabalho.

FIG. 4.2: Fluxograma de desenvolvimento do trabalho.



#### 4.2.1.1 PREPARAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA

Neste trabalho foram utilizadas como base cartográfica as cartas 1:50.000 da Cartografia Sistemática Brasileira, elaboradas pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército, folhas de São Leopoldo – MI 2970/4 e Gravataí – MI 2971/3 com Datum horizontal Córrego Alegre-MG e Datum vertical Marégrafo de Torres, curvas de nível de 20 em 20 metros, ambas em formato digital (arquivos DWG).

Para que o material pudesse ser utilizado em Sistemas de Informações Geográficas foi necessário um trabalho de edição, uma vez que havia um série de objetos gráficos que não atendiam a premissas básicas como por exemplo: segmentos truncados, curvas de nível sem elevação, objetos sobrepostos, elementos sem linhas de eixo, etc.

O trabalho de edição da base cartográfica foi realizado utilizando-se o *software* AutoCad Map 2000 ® e foi dividido em etapas conforme segue:

##### a) Identificação dos “layers”

A folha MI-2970/4, São Leopoldo, apresentava os “layers” ou planos de informação numerados e sem qualquer especificação que possibilitasse sua identificação, desta forma foi necessário efetuar o reconhecimento dos objetos gráficos. Isto foi efetuado isolando-se cada “layer” através de operações de “liga/desliga” e comparando-o com o formato analógico (carta impressa). Neste processo verificou-se que a distribuição dos objetos gráficos em “layers” não atendia a uma lógica clara e inequívoca, ou seja, havia informações diversas em um mesmo “layer” discriminadas pelo uso de cores diferentes. A folha MI-2971/3, Gravataí, apresentava “layers” identificados, ou seja, a sua denominação foi feita com nomes e não com números como na folha de São Leopoldo, contudo percebeu-se que os critérios utilizados para a determinação destes “layers” foram diferentes dos utilizados na folha de São Leopoldo, necessitando, portanto, de ordenamento e padronização.

##### b) Padronização de “layers”

Depois de identificados os “layers” das duas folhas procedeu-se a sua padronização. O critério utilizado foi agregar, sempre que possível, objetos de natureza semelhante isolando os textos de forma a tornar possível “ligá-los” ou “desligá-los”

sempre que necessário. Desta forma foi necessária a eliminação de alguns “layers” e a criação de outros bem como a definição de uma nova nomenclatura que apresentasse de forma clara a natureza das informações ali contidas. Assim ficaram estabelecidos 37 “layers” dentre os quais um chamado “texto” que contém todos os textos das cartas segundo as cores do símbolo que cada entidade representa. Os símbolos das entidades encontram-se distribuídos por vários “layers” e agrupados por semelhança.

c) Eliminação de objetos sobrepostos

Identificou-se um certo número de objetos sobrepostos, ou seja, o mesmo objeto com a mesma localização em dois “layers” diferentes e também a existência de blocos inseridos um dentro do outro, em sua maioria símbolos representativos de entidades tais como escolas, igrejas, etc. Para corrigir tais problemas, no primeiro caso, elegeu-se um único “layer” que deve conter o objeto segundo sua própria natureza, eliminando-se os demais e, no segundo caso, eliminaram-se os blocos repetidos restando apenas um símbolo (bloco) representativo da entidade.

d) União de segmentos de um mesmo objeto

Alguns objetos são constituídos por uma série de segmentos (polylines) que devem ser unidos a fim de representar uma só entidade, procedimento necessário para o uso em Sistemas de Informações Geográficas, neste caso, podemos destacar as curvas de nível, oleodutos, linhas de transmissão, rodovias, etc. Este procedimento é particularmente importante no caso das curvas de nível utilizadas como base no processo utilizado para a construção do modelo numérico do terreno (MNT) através do *software* IDRISI 32.

e) Dados de elevação das curvas de nível

Após a união das “polylines” formadoras das curvas de nível foi necessário atribuir a cada curva um valor que chamamos de elevação correspondente a sua cota, procedimento indispensável para a geração do MNT pelo processo utilizado.

f) Classificação das informações por tema – definição dos planos de trabalho

Para a definição dos planos de trabalho ou planos de informação (PIs) foram considerados basicamente quatro temas: altimetria, hidrografia, rede viária e equipamentos urbanos. Destes temas resultaram quatro arquivos em formato DWG para

cada carta (oito arquivos) que ao término do trabalho básico de edição foram unidos formando quatro arquivos gerais segundo cada tema:

- Altimetria: contendo informações gerais de altimetria como curvas de nível, pontos cotados e marcos trigonométricos, conforme apresenta a tabela 4.2.

TABELA 4.2: Layers do plano de informação altimetria.

LAYER	DENOMINAÇÃO	COR
Curvas_100	Curvas de nível de 100 em 100 m.	20
Curvas_20	Curvas de nível de 20 em 20 m.	41
Curvas_50	Curvas de nível de 50 em 50 m.	42
Marco_geo	Vértices: nome, símbolo e cota.	204
Margem	Margem	44
Ponto_cota	Pontos cotados: símbolo e cota.	23, 15
Texto	Textos diversos.	244, 254
Topo_relev	Nome dos morros.	244

- Hidrografia: contendo informações dos recursos hídricos como rios, arroios, trechos intermitentes, lagos de barragens e canais, conforme apresenta a tabela 4.3.

TABELA 4.3: Layers do plano de informação hidrografia.

LAYER	DENOMINAÇÃO	COR
Arroio	Arroios	150
Canal	Canais	120
Ilhas_delta	Ilhas do Delta do Jacuí	44
Intermitente	Cursos d'água intermitentes	130
Lago_barragem	Lagos de barragens	150
Margem	Margem	White
Rio	Rios	Blue
Seta_fluxo	Setas indicativas do fluxo dos rios	Red
Texto	Textos diversos	Diversas

- Rede Viária: contendo informações das rodovias, ferrovias, estradas de terra e caminhos, conforme apresenta a tabela 4.4.

TABELA 4.4: Layers do plano de informação rede viária.

LAYER	DENOMINAÇÃO	COR
Arruamento	Arruamento	253
Balsa	Balsa	Red
Caminho	Caminhos	94
Estrada_pavimentada	Estrada pavimentada	Yellow
Estrada_ver_soltoleve	Estrada de revestimento solto ou leve	Red
Estrada_terra	Estrada de terra	23
Ferrovia	Ferrovias	Green
Margem	Margem	44
Ponte	Pontes	253
Posto_gasolina	Posto de gasolina	30
Terminal_ferroviário	Terminal ferroviário	Magenta
Texto_simbolo	Textos e símbolos	Diversas

- Urbano: contendo informações da malha urbana, edificações e equipamentos de infra-estrutura, conforme apresenta a tabela 4.5.

TABELA 4.5: Layers do plano de informação urbano.

LAYER	DENOMINAÇÃO	COR
AEROPORTO_BAEREA	Aeroporto e base aérea	Blue
Cemiterio_hospital	Cemitérios e hospitais	Red e 204
Dique	Dique	58
Edificação	Edificações	Diversas
Industria	Indústrias	12
Linha_transmissao_subst_antena	Linhas de transmissão, subestações e antenas	94, 52 e 56.
Mancha_urbana	Mancha urbana	241
Margem	Margem	44
Mineração	Mineração	15
Oleoduto	Oleodutos	144
Parque_estação	Parque zoológico e estação de pesquisas veterinárias	44, 94
Saneamento	Equipamentos de saneamento	92
Texto	Textos diversos	Diversas

g) União das folhas MI 2970/4, São Leopoldo e MI 2971/3, Gravataí.

Completando o trabalho de edição, as duas folhas já classificadas por tema, segundo os quatro temas já citados, foram unidas constituindo-se então os quatro arquivos finais de trabalho: altimetria, hidrografia, rede viária e urbano.

#### h) Traçado dos limites da bacia hidrográfica

Utilizando as informações de hidrografia e altimetria buscou-se definir os limites da bacia hidrográfica considerando-se as áreas delimitadas pelos divisores de água e drenadas pelo Arroio Sapucaia e seus afluentes. Resultou uma área de aproximadamente 131 km<sup>2</sup> cujos limites são: ao norte os morros Quebra Dente e das Cabras (bacias dos arroios José Joaquim e Quilombo), ao sul a bacia do arroio Demétrio, a leste o rio dos Sinos e a oeste morro Itacolomi.

#### i) Definição da área de estudo

Tomando por base os limites da bacia hidrográfica foi definida a área de estudo como sendo a área da bacia acrescida de uma faixa de largura em torno de 2 km nos eixos “x” e “y”. Assim chegou-se a um recorte em forma retangular definido segundo as seguintes coordenadas: (475850,6706000) e (505000,6690000). Este recorte foi aplicado igualmente aos quatro planos de informação anteriormente definidos.

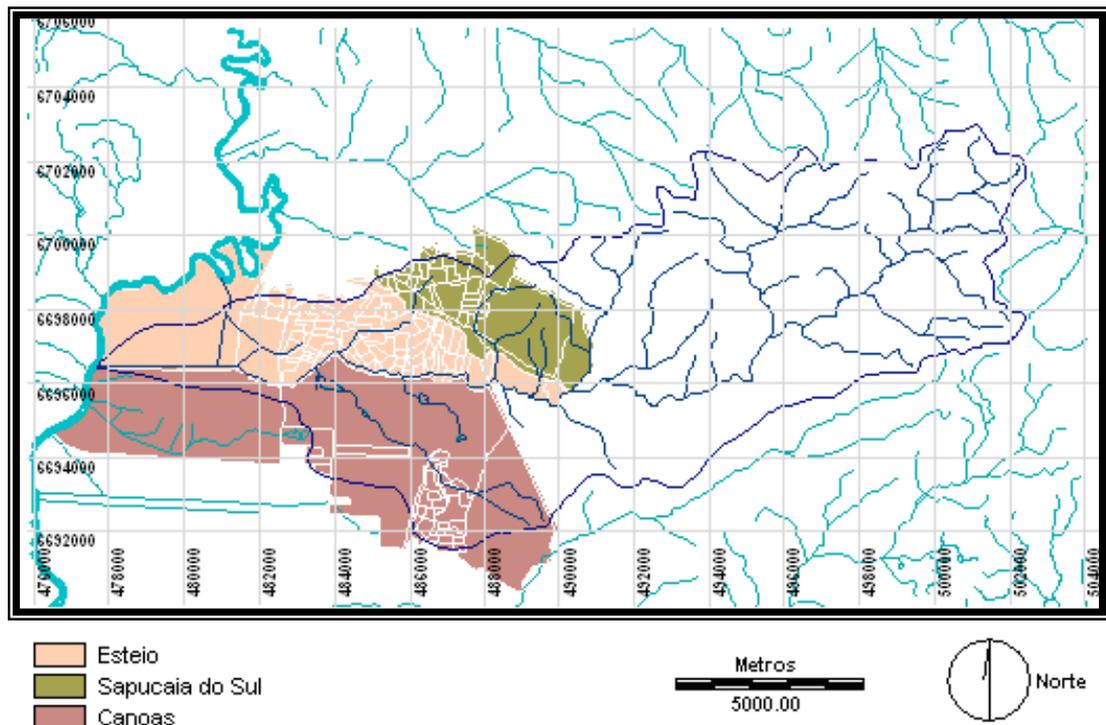
#### 4.2.1.2 PREPARAÇÃO DOS SETORES CENSITÁRIOS

Com o objetivo de espacializar os índices elaborados (IDH e ISA) foram utilizados os setores censitários dos municípios de Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul que pertencem a área da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia. Estes dados foram obtidos do CD do IBGE Base de Informações por Setor Censitário - Censo Demográfico 2000 – Resultados do Universo e são disponibilizados em formato *shape file*. Após separados os arquivos de interesse estes foram abertos no *software* ArcGis 8.0 e através do módulo ArcToolBox exportados para o formato dxf para que pudessem ser compatíveis com o *software* AutoCad Map 2000 onde assumiram o formato dwg, e uma vez feita a composição dos três municípios foi iniciado o trabalho de edição.

O trabalho de edição dos setores censitários tem como objetivo compatibilizar os limites dos setores que localizam-se na fronteira entre dois municípios pois existem algumas inconformidades tais como espaços em branco ou sobreposições. A base deste trabalho foi o traçado de uma linha entre os dois municípios contendo todos os pontos que compõem os limites dos setores de um lado e de outro da fronteira afim de que todos pudessem ser ajustados de acordo com esta linha, eliminando as sobreposições e espaços em branco.

Após editadas as fronteiras dos municípios foi necessário descartar os setores que ficaram fora da área da bacia, para os setores que ficaram na fronteira foram utilizados os seguintes critérios: excluir setores com menos de 25% de sua área no interior da bacia mantendo aqueles cuja exclusão criaria uma descontinuidade espacial importante na composição geral. Desta forma a composição geral abrange 168 setores: 39 setores de Canoas, 89 setores de Esteio e 40 setores de Sapucaia do Sul, conforme apresenta a figura 4.3.

FIG. 4.3: Bacia hidrográfica do arroio Sapucaia e setores censitários.



Depois de editados todos polígonos foi necessário verificar se todos estavam fechados e identificá-los através do código do setor censitário. Este código é o número atribuído pelo IBGE porém substituindo o código do município pelos números 1 para Esteio, 2 para Sapucaia do Sul e 3 para Canoas, este procedimento foi necessário porque os identificadores não podem conter mais que oito dígitos. Encerrado o processo de edição o arquivo dwg foi exportado para o formato dxf compatível com o módulo de importação do *software* IDRISI 32 onde estes dados foram associados a um banco de dados em ACCESS 97.

#### 4.2.1.3 ANÁLISE DA BACIA HIDROGRÁFICA

A análise do meio físico da bacia de drenagem é uma etapa importante de sua caracterização, auxilia na compreensão dos processos que ali ocorrem e permite que sejam estabelecidas comparações com outras bacias hidrográficas em situação ambiental semelhante através de alguns parâmetros que podem ser determinados com base em características próprias dos canais, sua distribuição espacial e da topografia. Este trabalho apresenta alguns dos índices preconizados para a análise de bacias hidrográficas, de forma especial os relacionados com o índice de rugosidade topográfica aqui considerado como um indicador da ocorrência de processos erosivos e desta forma também avaliado como um risco potencial à qualidade da água.

#### 4.2.1.4 ELABORAÇÃO DOS ÍNDICES

No presente trabalho foram utilizados dois índices: uma adaptação do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDH-M e um índice específico para avaliar as condições de saneamento, o Índice de Saneamento Ambiental – ISA. A adaptação do IDH-M foi feita em função da disponibilidade dos dados obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE provenientes do censo de 2000 (questionário universal) e disponibilizados por setor censitário. O ISA foi elaborado com o objetivo de avaliar especificamente as condições de saneamento não contempladas no IDH-M e pela constatação em visita local da precariedade de infraestrutura das comunidades estabelecidas sobretudo em áreas rurais ou muito próximas às margens do arroio Sapucaia.

##### a) IDH – ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO

O IDH foi criado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD originalmente para medir o nível de desenvolvimento humano dos países a partir de indicadores de educação, longevidade e renda. Seus valores variam entre 0 (zero) que significa nenhum desenvolvimento humano e 1 (um) que significa desenvolvimento humano total. Quando este índice não ultrapassa 0,499 diz-se que ao país tem um desenvolvimento humano baixo, se o valor do índice ficar entre 0,500 e 0,799, considera-se um desenvolvimento humano médio e se o índice igual ou superior a 0,800, o país apresenta um alto desenvolvimento humano.

Este índice também é utilizado para aferir o nível de desenvolvimento em municípios, denominando-se IDH-M, neste caso existe uma adaptação em termos de indicadores por tratarem-se de núcleos sociais menores. Entretanto foram mantidas as suas três dimensões básicas: educação, longevidade e renda. O cálculo destas três dimensões é efetuado considerando alguns indicadores específicos conforme segue:

a.1) Educação: considera a taxa de alfabetização com peso 2 e a taxa bruta de freqüência a escola com peso 1. A taxa de alfabetização resulta da divisão do número de pessoas no município com mais de 15 anos de idade capazes de ler e escrever um bilhete simples pelo número de pessoas no município com mais de 15 anos de idade. A taxa bruta de freqüência a escola é o somatório do número de pessoas residentes no município que estão freqüentando a escola (nível fundamental, médio, superior ou supletivos), independente da idade, dividido pela população residente no município na faixa etária de 7 a 22 anos. A faixa etária de 7 a 22 anos é definida de acordo com o calendário do Ministério da Educação que estabelece que aos 7 anos uma criança deve iniciar o primeiro ciclo do ensino fundamental, aos 15 anos deve ingressar na primeira série do ensino médio e aos 22 anos deve concluir o ensino superior.

a.2) Longevidade: este índice considera o número médio de anos que uma pessoa nascida no município, no ano de referência, deve viver, ou seja, a expectativa de vida no município referente a este ano. Este indicador sintetiza as condições de saúde e salubridade local, uma vez que quanto mais mortes houver nas faixas etárias mais precoces, menor será a expectativa de vida observada no local. A base deste indicador são as perguntas do censo sobre o número de filhos nascidos vivos e o número de filhos ainda vivos na data em que o censo foi feito. A partir desses dados são calculadas as proporções de óbitos e é aplicada uma equação que transforma essas probabilidades em tábuas de vida, de onde é extraída a esperança de vida ao nascer. Para transformar esse número de anos em índice, é usado como parâmetro máximo de longevidade 85 anos, e como parâmetro mínimo, 25 anos.

a.3) Renda: O índice utilizado para a avaliação da renda é a renda municipal *per capita*, ou seja, a renda média de cada residente no município. Este índice é obtido com informações retiradas do questionário expandido do censo, um questionário mais detalhado do que o universal e que é aplicado a uma amostra dos domicílios visitados

pelos avaliadores. Os dados obtidos deste questionário são expandidos para o total da população municipal e utilizados no cálculo da dimensão renda do IDH-M.

Em função da indisponibilidade de dados para a aplicação do IDH-M para cada setor censitário, uma vez que foi utilizado o resultado do questionário universal do censo que não contempla todas as informações necessárias para a composição do índice, foram efetuadas adaptações para as fórmulas de cálculo, preservando-se as três dimensões originais

#### IDH – Índice de Desenvolvimento Humano Adaptado

$$IDH = \frac{IDH - E + IDH - L + IDH - R}{3} \quad (4.1)$$

Onde:

IDH-E = dimensão educação;

IDH-L = dimensão longevidade;

IDH-R = dimensão renda.

##### a) Cálculo do IDH-E:

$$IDH - E = \frac{\text{pessoas com mais de 15 anos alfabetizadas}}{\text{pessoas com mais de 15 anos}} \quad (4.2)$$

O IDH-E passa a ser a própria **taxa de alfabetização** que resulta da divisão do número de pessoas residentes no setor com mais de 15 anos de idade alfabetizados pelo número total de pessoas com mais de 15 anos de idade residentes no setor.

##### b) Cálculo do IDH-L:

$$IDH - L = \frac{IDHM - L * 2 + FPI * 1}{3} \quad (4.3)$$

Onde:

IDH-L = Índice de desenvolvimento humano do setor censitário - dimensão longevidade

IDHM-L = Índice de desenvolvimento humano municipal - dimensão longevidade

FPI = Fator de população idosa

Esta metodologia considera de forma diferenciada os setores censitários onde parcelas da população acima de um por cento ultrapassam a idade denominada

esperança de vida ao nascer, da mesma forma aqueles setores onde as faixas etárias não atingem este índice ou o superam. Desta forma o FPI contribui no cálculo do IDH-L com os valores que seguem:

- Se o percentual de pessoas no setor com idade superior à esperança de vida ao nascer para o município não atinge 1% o FPI não é considerado no cálculo e o IDH-L=IDHM-L;
- Se o percentual de pessoas no setor com idade superior à esperança de vida ao nascer para o município é superior a 1% mas não ultrapassa os 5% o FPI assume o valor 0,9;
- Se o percentual de pessoas no setor com idade superior à esperança de vida ao nascer para o município é superior a 5%, o FPI = 1,0.

c) Cálculo do IDH-R

$$IDH - R = \frac{(\log \text{ renda média per capita rdpp}) - (\log \text{ valor referência mínimo})}{(\log \text{ valor referência máximo}) - (\log \text{ valor referência mínimo})}$$

(4.4)

Onde:

rdpp = responsáveis por domicílios particulares permanentes.

De acordo com os dados disponibilizados pelo IBGE, será utilizada a renda média *per capita* dos responsáveis por domicílios particulares permanentes que é o resultado da renda total dos responsáveis pelos domicílios particulares permanentes no setor censitário dividida pelo número de responsáveis por domicílios particulares permanentes. Considera-se este valor representativo em nível de setor censitário.

Sendo:

Valor de referência máximo = R\$ 1.560,17;

Valor de referência mínimo = R\$ 3,90.

Os valores de referência mínimo e máximo são os adotados nos relatórios internacionais do PNUD (US\$ PPC\* 40.000,00 e US\$ PPC\* 100,00), em valores mensais expressos em reais pela cotação do dia 1 de agosto de 2000.

(\*) PPC = Paridade do Poder de Compra.

b) ISA – ÍNDICE DE SANEAMENTO AMBIENTAL

O cálculo do ISA envolve dados de abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de lixo, seu objetivo é avaliar este aspecto da condição de vida da população urbana da bacia também como um fator de risco potencial à qualidade da água, pois sabe-se que em locais com deficiência de infra-estrutura, mais notadamente na área de saneamento, os riscos de degradação ao meio ambiente aumentam pelo lançamento inadequado de esgotos ou resíduos sólidos e pela proliferação de vetores. Os dados foram extraídos do resultado do questionário universal do censo de 2000 do IBGE através do *software* de visualização ESTATCART para uma planilha EXCEL onde o cálculo foi efetuado. A fórmula geral de cálculo é a seguinte:

$$ISA = \frac{IAA + IES + ICL}{3} \quad (4.5)$$

Onde:

**IAA** = Índice de Abastecimento de Água

**IES** = Índice de Esgotamento Sanitário

**ICL** = Índice de Coleta de Lixo

b.1) Índice de Abastecimento de Água – IAA

$$IAA = \frac{dpp \text{ abastecidos rede geral}}{dpp} \quad (4.6)$$

Onde:

dpp = domicílios particulares permanentes.

Este índice considera positivamente os domicílios abastecidos pela rede pública em detrimento daqueles que se abastecem de fontes alternativas, considerando que em áreas urbanizadas o abastecimento por fontes alternativas, em sua maioria poços escavados ou profundos, não oferece segurança do ponto de vista de contaminação ou qualidade físico-química da água para consumo humano. A água está intimamente ligada à questão da saúde pública pois a maior parte das doenças de veiculação hídrica poderia ser evitada com adequadas condições de saneamento, especialmente no que tange ao abastecimento de água. É importante considerar também que a perfuração de poços sem orientação técnica adequada pode causar contaminação do lençol freático que pode afetar a qualidade da água superficial.

b.2) Índice de Esgotamento Sanitário - IES

$$IES = \frac{dpp \text{ esgoto coletado ou tratado}}{dpp \text{ com sanitário}} * FM \quad (4.7)$$

Onde:

dpp = domicílios particulares permanentes;

FM = fator de minoração.

Este índice considera como um aspecto positivo ao ambiente os domicílios que possuem esgoto coletado ou com qualquer forma de tratamento, inclusive rudimentar, e a estimativa é efetuada no universo dos domicílios que possuem banheiro ou sanitário.

O fator de minoração tem o objetivo de tornar mais evidente a questão do lançamento direto de esgotos nos cursos de água ou no solo, tendo em vista a relevância desta prática como fator de risco à qualidade da água, sobretudo em bacias hidrográficas em áreas urbanas onde este tipo de fonte poluidora de característica difusa é bastante representativa e de difícil mapeamento e controle. Este fator de minoração pode assumir os seguintes valores:

- **1,0** se o percentual de lançamentos diretos de esgotos não ultrapassar 10% dos domicílios particulares permanentes com banheiro ou sanitário no setor;
- **0,8** se o percentual de lançamentos diretos de esgotos for maior que 10% e menor ou igual a 20% dos domicílios particulares permanentes com banheiro ou sanitário no setor;
- **0,6** se o percentual de lançamentos diretos de esgotos for maior que 20% e menor ou igual a 50% dos domicílios particulares permanentes com banheiro ou sanitário;
- **0,5** se o percentual de lançamentos diretos de esgotos for maior que 50% dos domicílios particulares permanentes com banheiro ou sanitário.

b.3) Índice de Coleta de Lixo – ICL

$$ICL = \frac{dpp \text{ com coleta de lixo}}{dpp} \quad (4.8)$$

Onde: dpp = domicílios particulares permanentes.

Em áreas sem coleta de lixo é comum a deposição de resíduos em locais impróprios como terrenos baldios, formando os tradicionais lixões, ou às margens ou dentro do próprio arroio. Este índice considera de forma positiva os domicílios que possuem coleta de lixo supondo que os resíduos serão corretamente acondicionados e encaminhados para a coleta pelos serviços de limpeza urbana.

#### c) IR - ÍNDICE DE RUGOSIDADE

Este índice combina as qualidades da declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem e foi calculado para a bacia hidrográfica do arroio Sapucaia e para as nove sub-bacias.

$$Ir = H * Dd \quad (4.9)$$

Onde:

H = amplitude altimétrica máxima;

Dd = densidade de drenagem.

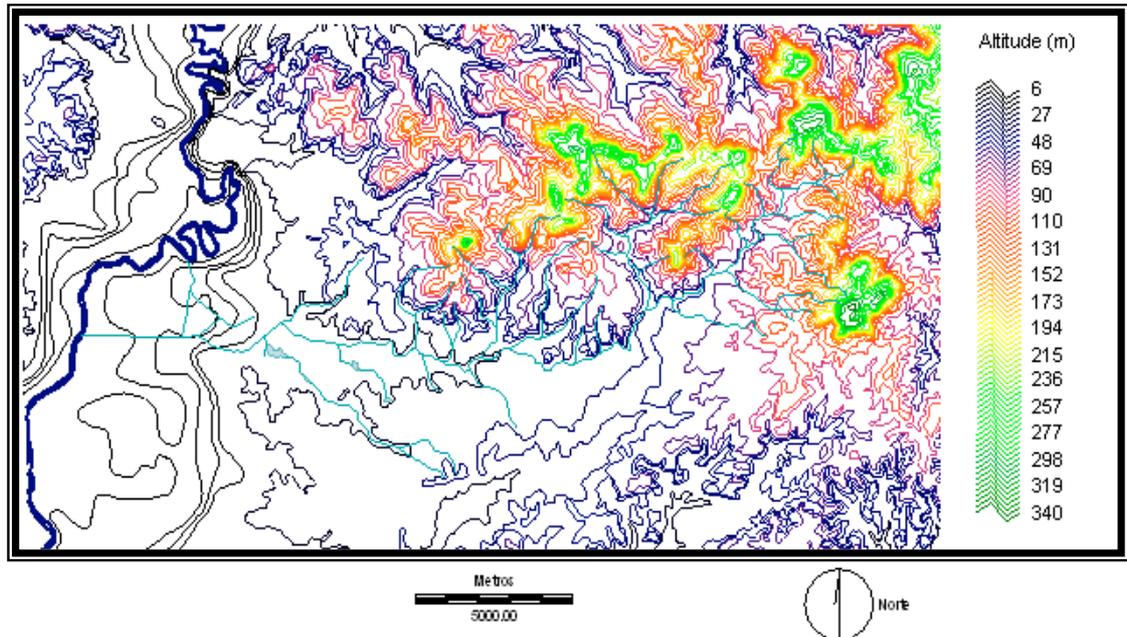
#### 4.2.1.5 MODELO NUMÉRICO DO TERRENO - MNT

O modelo numérico do terreno foi gerado através do *software* IDRISI 32 com base nos dados topográficos extraídos da base cartográfica, curvas de nível de 20 em 20 metros, através de um processo de triangulação que resultou uma superfície contínua. Contudo, verificou-se que nas áreas mais planas com poucas curvas (vale do Rio dos Sinos e área próxima a foz do arroio Sapucaia) o interpolador não apresentou um resultado satisfatório, isto deve-se ao fato de que no procedimento de interpolação a correlação entre dois pontos diminui com o aumento da distância entre eles, o que sugere que o resultado da interpolação será tão mais verdadeiro quanto mais próximas estiverem as curvas de nível.

A solução encontrada para este problema foi traçar curvas auxiliares nas regiões mais planas através de um processo de interpolação tomando por base os pontos cotados existentes na área. A seguir foi refeito o processo de geração do MNT introduzindo as curvas complementares para as cotas de 6, 8, 10 e 12 metros e o resultado da interpolação mostrou-se bastante satisfatório.

O MNT foi utilizado para a obtenção dos valores de declividade considerados na espacialização das áreas de preservação permanente, da amplitude altimétrica e do índice de rugosidade das sub-bacias formadoras da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia. A figura 4.4 apresenta a altimetria utilizada para a geração do MNT.

FIG.4.4: Altimetria da área de estudo para a geração do MNT.



#### 4.2.1.6 GEORREFERENCIAMENTO DA IMAGEM

No presente trabalho foi utilizada uma imagem ASTER, bandas 1 (0,5560 $\mu\text{m}$ ), 2 (0,6610 $\mu\text{m}$ ) e 3N (0,8070 $\mu\text{m}$ ) em composição coloria 231 RGB com 15 m de resolução espacial. O georreferenciamento e a classificação da imagem foram realizados utilizando o *software* ENVI 4.0. A cena ASTER possui um recobrimento de 60 x 60 km, então inicialmente delimitou-se uma área retangular de forma a cobrir a área de estudo definida sobre a base cartográfica para posteriormente efetuar as operações de georreferenciamento e classificação.

O sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) é um dos instrumentos a bordo do satélite TERRA que obtém imagens com resolução espacial que varia de 15 a 90 m e opera nas regiões do visível, infravermelho próximo, infravermelho médio e infravermelho termal. O instrumento ASTER é constituído de três subsistemas de telescópios distintos, cada um operando numa região espectral diferente: VNIR, SWIR e TIR. Ele possui alta resolução espacial, espectral e

radiométrica, radiômetro de imagens de 14 bandas. A separação espectral é completada através de filtros de passagem de banda discretos e dicróicos. Este instrumento não adquire dados continuamente, opera por um tempo limitado em partes do dia e noite, a configuração completa coleta dados numa média de 8 minutos por órbita de 99 minutos. A tabela 4.6 apresenta algumas características técnicas deste sensor.

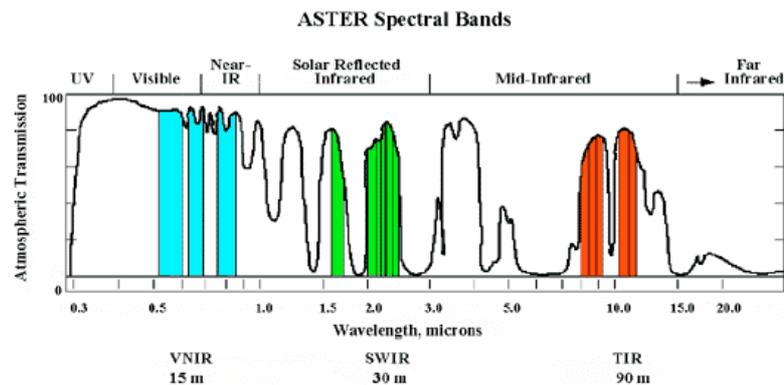
TABELA 4.6: Características técnicas gerais do sensor ASTER

Bandas espectrais	Faixa do espectro eletromagnético
VNIR	0.5 – 0.9 $\mu\text{m}$
SWIR	1.6 – 2.5 $\mu\text{m}$
TIR	8 – 11,32 $\mu\text{m}$
Resolução espacial	15 m (VNIR: 3 bandas) 30m (SWIR: 6 bandas) 90 m (TIR: 5 bandas)
Velocidade	8.3 Mbps (média), 89.2 Mbps (pico)
Massa	450 kg
Potência	525 W (média), 761 W (pico)

FONTE: [www.engesat.com.br](http://www.engesat.com.br)

O sensor ASTER cobre uma faixa do espectro eletromagnético de 0,5  $\mu\text{m}$  a 11,32  $\mu\text{m}$  em suas 14 bandas como demonstra a figura 4.5.

FIG. 4.5: Bandas espectrais do sensor ASTER.



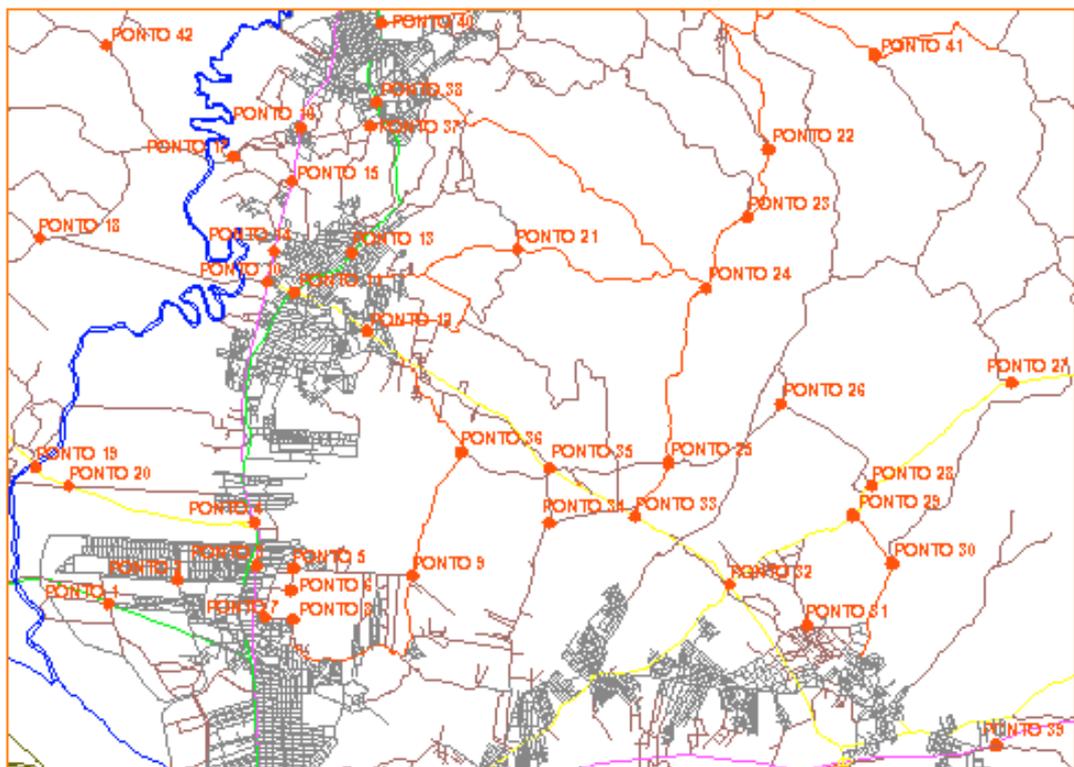
FONTE: [www.engesat.com.br](http://www.engesat.com.br)

O georreferenciamento da imagem foi efetuado tendo como base as cartas 1:50.000 da Cartografia Sistemática Brasileira elaboradas pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército, folhas de São Leopoldo – MI 2970/4 e Gravataí – MI 2971/3 com Datum horizontal Córrego Alegre-MG e Datum vertical Marégrafo de Torres já editadas em meio digital. Foram identificados na imagem 42 pontos de controle

referentes aos cruzamentos da rede viária com base nos quais foi efetuado o georreferenciamento.

O *software* utilizado no georreferenciamento (ENVI 4.0) permite a avaliação dos erros obtidos nos ajustes entre os pontos de controle cartográficos e os seus equivalentes na imagem, desta forma dos 42 pontos considerados inicialmente foram desprezados os dois que apresentaram os maiores erros, ficando um total de 40 pontos. A figura 4.6 apresenta a locação desses pontos cujo erro médio quadrático foi calculado através de um modelo de rotação, escalonamento e transferência (RST – Rotate/Strech/Translate) resultando no valor de 0,67 *pixel*.

FIG. 4.6: Pontos de controle para o georreferenciamento.



No georreferenciamento foi utilizada a transformação polinomial de grau 2 e o método de reamostragem empregado foi *Nearest Neighbor* (vizinho mais próximo). O tamanho do *pixel* de saída da imagem georreferenciada é de 15 m. Após o resultado do georreferenciamento, com base na sobreposição do plano de informação rede viária foi reduzida a área inicial de trabalho através de um recorte de forma retangular abrangendo somente a área de estudo estabelecida nos planos de informação originados da base

cartográfica de acordo com as seguintes coordenadas: (475.850, 6.706.000) e (505.000, 6.690.000).

#### 4.2.1.7 CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM

Tomando por base a área delimitada inicialmente na imagem sua classificação foi efetuada em três etapas:

a) Classificação não supervisionada: foi realizada como um estudo preliminar da área tendo como objetivo identificar as diferentes classes de ocupação e uso do solo. Foi utilizado o classificador ISODATA, cujo processo inicia pela identificação de padrões típicos nos níveis de cinza a partir dos quais são formados agrupamentos de *pixels* (*clusters*) cujos valores médios são recalculados a cada iteração até o limite dos parâmetros estabelecidos pelo operador no início. Após algumas tentativas de aplicação do classificador em áreas teste foram definidos os seguintes parâmetros para a classificação:

- N° de classes: 5 a 10 classes;
- N° de iterações: 10;
- Limite para trocas de classes: 5%;
- Mínimo de *pixels* por classe: 500.

A imagem resultante da classificação foi obtida com apenas cinco iterações e georreferenciada de acordo com os 40 pontos de controle definidos inicialmente servindo de base para a etapa seguinte: o levantamento de campo.

b) Etapa de campo: foi realizada com o objetivo de identificar classes de uso do solo para a classificação supervisionada, para isto foi elaborada uma planilha de campo e foram tomadas as coordenadas de 44 pontos com o auxílio de GPS (*Global Positioning System*) cuja precisão variou para estes pontos entre 6 e 15 m. Na etapa de campo foi percorrida boa parte da bacia do arroio Sapucaia e realizado o registro fotográfico de algumas áreas com o objetivo de caracterizá-las tanto do ponto de vista físico como de ocupação humana.

c) Classificação supervisionada: O princípio da classificação supervisionada é baseado no uso de algoritmos para se determinar os *pixels* que representam valores de reflexão

característicos para uma determinada classe, para isto é necessária a definição de amostras de treinamento para cada classe. Com base na classificação ISODATA e nos pontos coletados em campo foi realizada a classificação supervisionada da imagem pelo método da Máxima Verossimilhança (*maximum likelihood*). Este método considera a ponderação das distâncias das médias das classes utilizando parâmetros estatísticos razão pela qual, segundo Crosta (1992), cada conjunto de treinamento deve conter um mínimo de 100 *pixels*. Para cada amostra de treinamento são calculados a média e o desvio padrão e o resultado da classificação é baseado na probabilidade que se estabelece para que um *pixel* qualquer pertença a uma determinada classe. Desta forma, poder-se-á estabelecer que todos os *pixels* serão classificados, mesmo com uma probabilidade mínima de pertencer a qualquer uma das classes ou definir um valor mínimo por classe ou mesmo um valor mínimo válido para todas classes. Foi adotada a probabilidade de 25% para todas classes e as amostras de treinamento definiram as seguintes classes:

- 1 - Água, 434 *pixels*;
- 2 - Reflorestamento, 1.411 *pixels*;
- 3 - Mata nativa, 2.152 *pixels*;
- 4 - Solo cultivado, 1.479 *pixels*;
- 5 - Área urbana, 1.208 *pixels*;
- 6 - Solo exposto, 352 *pixels*;
- 7 - Área úmida, 561 *pixels*;
- 8 - Campo, 629 *pixels*;
- 9 - Solo em preparo para cultivo, 748 *pixels*;
- 10 - Capões de mato, 414 *pixels*.

A imagem resultante da classificação foi georreferenciada de acordo com os pontos de controle definidos inicialmente e reduzida através de um “recorte” às dimensões estabelecidas para a área de estudo para ser utilizada nas operações de análise espacial no *software* IDRISI 32.

Com o objetivo melhorar a imagem classificada para apresentação do resultado, suavizando-a e eliminando *pixels* isolados, foi aplicado um filtro de média com máscara de dimensões 3 x 3 cujo efeito é o de substituir o valor do contador digital do *pixel* original pela média aritmética do *pixel* de seus vizinhos.

#### 4.2.1.8 OPERAÇÕES DE ANÁLISE ESPACIAL

O objetivo das operações de análise espacial neste trabalho é o de identificar áreas que representem risco potencial à qualidade da água tomando por base as condições topográficas, os índices elaborados e o uso do solo especialmente a ocupação urbana em áreas destinadas a preservação permanente. Neste sentido, as análises com base nas condições topográficas buscam identificar os riscos naturais enquanto que as análises elaboradas a partir do tipo de ocupação do solo e das condições de vida da população buscam identificar riscos de natureza sócio-ambiental.

As operações de análise espacial foram desenvolvidas tomando por base os arquivos vetoriais extraídos da base cartográfica, os setores censitários extraídos dos CD's do IBGE e previamente editados e a imagem classificada e georreferenciada da área delimitada como área de estudo. Os arquivos vetoriais extraídos da base cartográfica em formato de intercâmbio de dados (dxf) foram importados para o *software* IDRISI 32 utilizando o sistema de referência original UTM Córrego Alegre, fuso 22 Sul. O arquivo referente aos setores censitários da mesma forma, depois de editado no *software* AutoCad Map 2000, foi convertido para o formato de intercâmbio de dados (dxf) e importado para o *software* IDRISI 32, os setores já estavam identificados com um código e no sistema de referência de trabalho. A imagem classificada e georreferenciada no *software* ENVI 4.0 foi também agregada ao *software* IDRISI 32 com o objetivo de analisar a ocupação do solo na área da bacia, especialmente a ocupação urbana em áreas de preservação permanente, de forma e identificar-se o que se definiu anteriormente como “áreas de conflito de uso”.

Inicialmente o SIG agregava os seguintes planos de informação:

a) Arquivos em formato vetorial:

- area\_estudo\_hidro contendo toda rede hidrográfica da área de estudo;
- altimetria\_mnt contendo as curvas de nível para a elaboração do modelo numérico do terreno;
- limite\_bacia contendo as fronteiras da bacia hidrográfica;
- sapucaia\_canais contendo apenas a hidrografia da bacia do arroio Sapucaia sem os lagos das barragens;

- sapucaia\_lagos contendo apenas os lagos das barragens da bacia do arroio Sapucaia;
- sapucaia\_sub\_bacias contendo os polígonos dos limites das nove sub-bacias definidas;
- setores\_censitarios\_ces contendo os polígonos dos setores censitários dos três municípios incluídos neste estudo, já editados.

b) Arquivos em formato raster:

- sapucaia\_mnt contendo o modelo numérico do terreno elaborado com base na altimetria da área;
- sapucaia\_class\_georref\_recorte contendo as classes de uso do solo resultantes da classificação da imagem já georreferenciada.

#### 4.2.1.8.1 ESPACIALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

Utilizando as informações dos arquivos sapucaia\_canais, sapucaia\_lagos e sapucaia\_mnt foi possível identificar as áreas de preservação permanente. Inicialmente foi necessário marcar os pontos referentes às nascentes do arroio Sapucaia, então através do comando DISTANCE foram calculadas as distâncias relativas às áreas de preservação permanente com base na legislação: 30 m ao longo dos cursos de água (sapucaia\_canais), 30 m em torno dos lagos (sapucaia\_lagos) e 50m em torno das nascentes (sapucaia\_canais). As imagens resultantes de DISTANCE foram reclassificadas para valores de 0 (zero) e 1 (um) gerando imagens booleanas contendo somente as áreas de interesse. Posteriormente tomando como base o modelo numérico do terreno e utilizando o comando SURFACE foi elaborado um mapa de declividades que reclassificado para os valores de 0 (zero) e 1 (um) gerou uma imagem booleana contendo as áreas com declividades superiores a 45° que, segundo a legislação, seriam áreas de preservação permanente. Unindo as imagens booleanas criadas através do comando *Image Calculator* utilizando o operador lógico OR (união) obteve-se como resultado uma imagem booleana contendo todas áreas de preservação permanente na bacia.

#### 4.2.1.8.2 ESPACIALIZAÇÃO DOS ÍNDICES IDH E ISA

A partir do plano de informação setores\_censitarios\_ces obtiveram-se os primeiros resultados quando estabelecidos os vínculos entre o arquivo vetorial e o banco

de dados contendo os valores dos índices calculados. Através do comando *Collection Editor* foi criado o arquivo do tipo *vector link file (vlx)* através do qual foi efetuado o vínculo (*link*) entre a informação espacial dos polígonos e a informação alfanumérica dos valores dos índices. Estes índices podem ainda ser desdobrados em suas três dimensões com representação espacial, o IDH pode ser visualizado para as dimensões educação, longevidade ou renda e o ISA para as dimensões abastecimento de água, esgotamento sanitário ou coleta de lixo.

Posteriormente o arquivo *setores\_censitarios\_ces* foi convertido para formato *raster*. A fim de definir um limiar abaixo do qual um setor possa ser considerado de risco, adotou-se o seguinte método:

- a) cálculo da média dos valores do índice para o universo dos setores;

$$X_{medio} = \frac{\sum_1^n x_i}{n} \quad (4.10)$$

- b) cálculo do desvio-padrão para o universo dos setores;

$$S(X) = \frac{\sqrt{\sum_1^n (X_i - X_{medio})^2}}{n} \quad (4.11)$$

- c) seleção de todos setores que apresentaram índice abaixo da média do universo;

- d) cálculo para os setores selecionados no item (c) da discrepância ou seja, a variação do índice em torno da média;

$$x_i = (X_i - X_{medio}) \quad (4.12)$$

- e) seleção dos setores que apresentaram discrepância maior que o desvio-padrão do universo.

Desta forma foram estabelecidos os limiares de IDH e ISA como respectivamente: 0,8465 e 0,8290. A partir destes valores foi possível atribuir a cada setor censitário no banco de dados um número representativo de inclusão (1) ou exclusão (0). Através do comando *ASSIGN* aplicado ao plano de informação *setores\_censitarios\_ces* em formato *raster* os códigos dos setores assumiram estes valores resultando uma imagem do tipo booleana contendo os setores selecionados.

#### 4.2.1.8.3 ESPACIALIZAÇÃO DO ÍNDICE IR

O arquivo vetorial contendo a informação espacial das nove sub-bacias foi vinculado às informações do índice de rugosidade (Ir) contidas no banco de dados possibilitando assim a visualização do índice para toda a bacia. Posteriormente este arquivo foi convertido para o formato *raster* e estabeleceu-se um limiar a partir do qual uma sub-bacia pudesse ser considerada de risco tomando por base o valor do índice calculado para a bacia do arroio Sapucaia (0,22). A partir deste valor então uma sub-bacia pode ser classificada como representativa de risco considerando-se exclusivamente o índice de rugosidade topográfica (Ir) como indicador de fragilidade do terreno. Com base no limiar estabelecido foram atribuídos às sub-bacias os valores representativos de inclusão (1) ou exclusão (0) e, através do comando ASSIGN, as sub-bacias assumiram estes valores resultando em uma imagem do tipo booleana contendo as sub-bacias selecionadas.

#### 4.2.1.8.4 USO DO SOLO

A imagem classificada da área de estudo contendo as 10 classes de uso do solo foi complementada por uma legenda e uma adequada paleta de cores, após através do comando ASSIGN foram separadas as classes de interesse que foram utilizadas nos cruzamentos: área urbana, solo cultivado, solo exposto e solo em preparo. Este procedimento resultou em imagens do tipo booleana para cada classe.

O arquivo *raster* contendo as nove sub-bacias foi reclassificado para os valores de 0 (zero) e 1(um) e através do módulo *Image Calculator – Mathematical Operator* foi multiplicado pela imagem classificada a fim de obter um recorte da bacia do arroio Sapucaia com as respectivas classes de uso do solo.

#### 4.2.1.8.5 CRUZAMENTO DOS PLANOS DE INFORMAÇÃO

Os cruzamentos dos planos de informação constituem uma série de operações lógicas e matemáticas que apresentam como resultado a geração de informação espacial específica de acordo com os objetivos definidos inicialmente. Desta forma, as operações foram divididas, conforme segue:

a) Identificação das áreas de conflito de uso

As áreas de conflito de uso foram definidas a partir do plano de informação *sapucaia\_app*, contendo as áreas de preservação permanente, e das classes de uso do solo. Para isto foram selecionadas as classes: área urbana, solo cultivado e solo em preparo. Essas três classes representadas por imagens booleanas foram unidas através do módulo *Image Calculator* utilizando o operador lógico OR e após a imagem resultante foi multiplicada por *sapucaia\_app*, ou seja, foi estabelecida uma restrição de uso considerando as áreas destinadas à preservação permanente, tendo como resultado a imagem *sapucaia\_conflito\_uso* correspondendo as áreas de preservação permanente ocupadas ou áreas de conflito de uso.

b) Verificação da influência da variável sócio-ambiental sobre as áreas de preservação permanente ocupadas

A fim de avaliar a área de influência dos setores censitários com baixos valores de IDH e ISA sobre a ocupação das áreas destinadas à preservação permanente foram utilizados os planos de informação *sapucaia\_conflito\_uso* e *setores\_risco*, duas imagens booleanas, que foram multiplicadas resultando na identificação das áreas de conflito de uso coincidentes com os setores considerados de risco.

c) Avaliação do uso e ocupação do solo em relação ao índice de rugosidade

Através do comando RECLASS foram separadas as nove sub-bacias resultando em uma imagem booleana para cada uma delas, estas imagens foram multiplicadas através do módulo *Image Calculator* pela imagem de uso do solo resultando a definição das classes de uso do solo para cada sub-bacia. Estes dados foram a seguir comparados com os respectivos índices de rugosidade das sub-bacias.

d) Avaliação da ocupação urbana em função da declividade

Os valores de declividade entre 6 e 20% foram considerados como faixa ideal para a ocupação urbana tendo em vista unicamente a estabilidade dos solos, este valores estão de acordo com os intervalos propostos por Salomão (IPT-1992), e assumidos pelo PROTEGER (1994) para o mapeamento de áreas suscetíveis a processos de erosão laminar: (Classe 1: 0% a 6%; Classe 2: 6% a 12%; Classe 3: 12% a 20%; Classe 4: superiores a 20%). Denominaram-se faixas de transição os valores entre

2 e 6% e entre 20 e 25%. Assim, utilizando o mapa de declividades e através do comando FUZZY (lógica nebulosa) foram geradas duas imagens, uma para a faixa de declividade de 2 a 6% e outra para 20 a 25% (função sigmoideal), estas imagens representam as faixas de transição entre os valores adequados e inadequados para ocupação e foram posteriormente unificadas. Tomando por base a imagem classificada, foi isolada a classe representativa da ocupação urbana. Utilizando-se uma análise por critérios múltiplos (*Multi Criteria Evaluation – MCE*) foi efetuado o cruzamento da imagem de uso do solo (restritiva) com a de declividade (fator) o qual gerou um arquivo contendo somente a classe área urbana localizada nas áreas consideradas adequadas para a ocupação de acordo com o critério inicial.

e) Áreas representativas de risco potencial no âmbito da bacia

Tomando por base os planos de informação *sapucaia\_conflito\_uso*, representativo das áreas de conflito de uso e *setores\_risco*, representativo dos setores censitários que de acordo com os índices calculados representam risco sócio-ambiental, efetuou-se a multiplicação das duas imagens obtendo-se como resultado todas as áreas representativas de risco potencial associado à ação antrópica no âmbito da bacia.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A metodologia empregada neste trabalho permite avaliar os riscos decorrentes do meio físico e aqueles relacionados às condições de vida da população. Os resultados isoladamente evidenciam, em determinadas situações, a precariedade da infra-estrutura urbana e, quando adequadamente combinados podem fornecer importantes subsídios para um melhor gerenciamento da questão ambiental e a melhoria da qualidade de vida das populações locais.

Na análise da bacia hidrográfica foram considerados aspectos gerais da bacia e particulares da rede de drenagem, isto com o objetivo de melhor caracterizar a área de estudo e contextualizar os dados de uso do solo obtidos através da classificação da imagem. A bacia do arroio Sapucaia foi dividida em nove sub-bacias e foi calculado o valor do índice de rugosidade ( $I_r$ ) para cada uma delas resultando em três sub-bacias em situação crítica.

Posteriormente são descritos os resultados da classificação da imagem e da espacialização dos índices gerados bem como a análise combinada de alguns desses resultados como: índice de rugosidade e uso do solo, ou áreas de ocupação irregular e IDH/ISA. As análises que embasaram este trabalho podem ainda ser exploradas através de outras combinações de dados permitindo diferentes enfoques dentro da área ambiental.

### **5.1 ANÁLISE DA BACIA HIDROGRÁFICA**

A análise da bacia hidrográfica gera uma série de informações como forma da bacia, área, perímetro, padrão de drenagem, hierarquia fluvial e alguns índices como densidade de drenagem e rugosidade, isto com o objetivo de melhor caracterizar a bacia e compreender os processos que ali ocorrem.

#### **5.1.1 PADRÃO DE DRENAGEM**

A bacia hidrográfica do arroio Sapucaia apresenta um padrão de drenagem do tipo dendrítico ou arborescente, neste padrão os tributários ao canal principal (arroio

Sapucaia) distribuem-se em todas as direções sobre a superfície do terreno e se unem formando ângulos agudos sem chegar nunca ao ângulo reto. Segundo Christofolletti: *“Este padrão é tipicamente desenvolvido sobre rochas de resistência uniforme, ou em estruturas sedimentares horizontais”* (Christofolletti, 1980, p. 103).

### 5.1.2 HIERARQUIA FLUVIAL

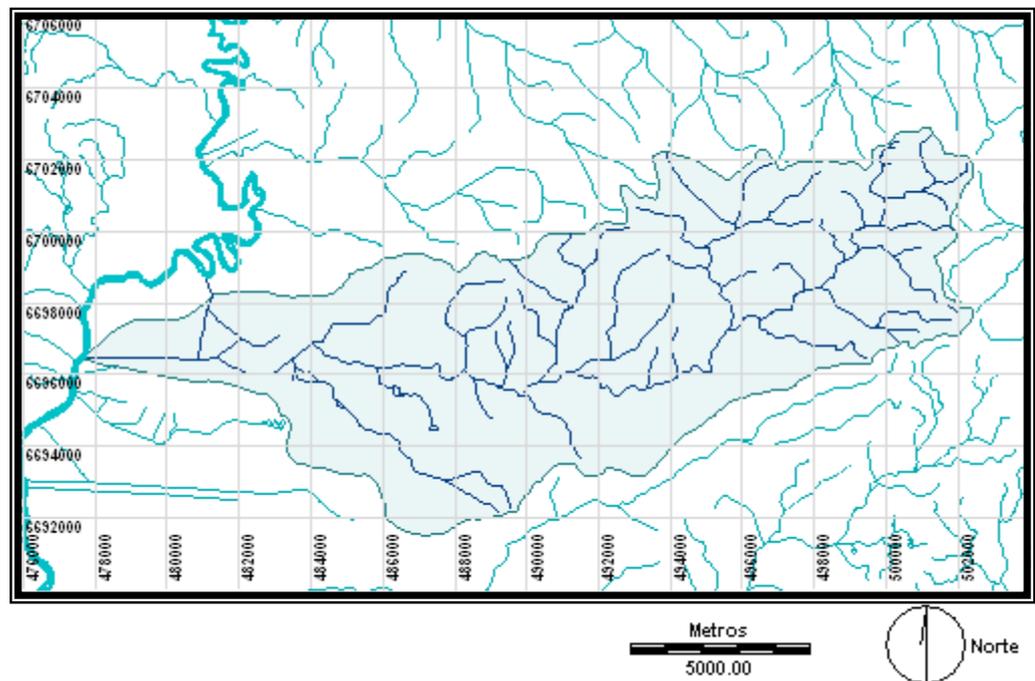
A classificação dos cursos d’água da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia foi efetuada de acordo com o critério de Strahler e os resultados encontram-se descritos na tabela 5.1.

TABELA 5.1: Ordenamento dos canais fluviais.

ORDEM	Nº SEGMENTOS	COMPRIMENTO (m)
1ª	41	76306,96
2ª	11	20224,39
3ª	2	10639,03
4ª	1	21322,88
<b>TOTAL:</b>	54	128493,26

A figura 5.1 ilustra a rede hidrográfica na área de estudo, destacando a bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.

FIG. 5.1: Bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.



### 5.1.3 CARACTERÍSTICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA

a) Área da bacia (A)

Considerada como toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal, resultou em 131, 192 km<sup>2</sup>.

b) Comprimento da bacia (L)

Foi utilizado o seguinte critério: maior distância medida, em linha reta, entre a foz e um ponto situado ao longo do perímetro. (Christofolletti, 1980, p. 114)

$$L = 25,228 \text{ km}$$

c) Forma da bacia

A forma da bacia é retangular com índice de forma = 0,46.

d) Densidade de drenagem

A densidade de drenagem é um índice que correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica.

$$\boxed{Dd = \frac{Lt}{A}} \quad (5.1)$$

Onde:

Lt = comprimento total dos canais (km)

A = área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>)

$$Dd = 117,471/131,193 = 0,895\text{km}/\text{km}^2 = 0,000895\text{m}/\text{m}^2$$

e) Amplitude altimétrica máxima da bacia (Hm)

A amplitude altimétrica máxima, também chamada de “relevo máximo da bacia” corresponde à diferença altimétrica entre a altitude da desembocadura e a altitude do ponto mais alto situado em qualquer lugar da divisória topográfica.

$$Hm = 248,25 \text{ m}$$

f) Índice de rugosidade (Ir)

Este índice foi calculado para bacia do arroio Sapucaia e para as nove sub-bacias, é expresso por um número adimensional resultado do produto entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem. O índice de rugosidade combina as qualidades da declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem.

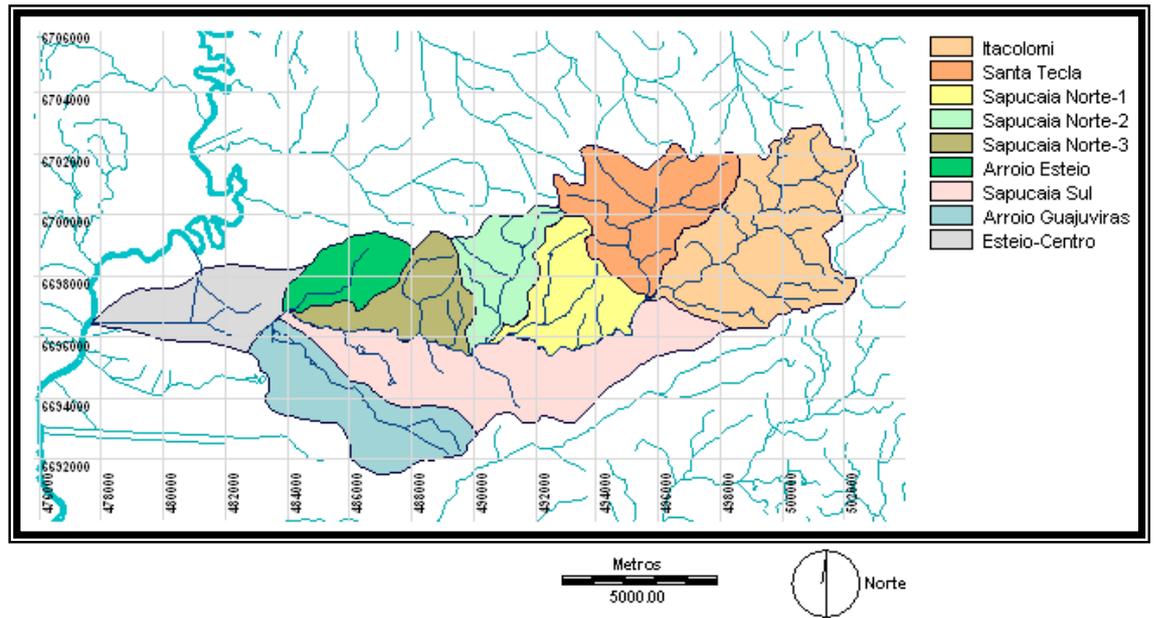
$$Ir = 0,2222$$

g) Divisão em sub-bacias

A bacia hidrográfica do arroio Sapucaia foi dividida em nove sub-bacias considerando a topografia, área mínima não inferior a 5 km<sup>2</sup> e sua distribuição espacial de forma a viabilizar a análise da rugosidade topográfica. Para tal tomou-se como base a distribuição das sub-bacias obtida do *software* IDRISI 32 através do comando *watershed*. Esta operação faz a divisão das áreas de drenagem considerando os valores de elevação das curvas de nível. Entretanto percebe-se que este processo funciona relativamente bem nas áreas de maiores altitudes mas o seu desempenho nas áreas planas mostra-se insuficiente para uma adequada separação das sub-bacias.

Considerando este aspecto e tomando por base esta distribuição preliminar obtida no *watershed*, a edição das sub-bacias foi efetuada no *software* AutoCad Map 2000® onde a cada polígono representativo de uma sub-bacia foi atribuído um identificador. Após foi efetuada a importação dos polígonos em formato de intercâmbio de dados dxf (Drawing Interchange File) para o *software* IDRISI 32 onde, a partir da vinculação com um banco de dados em Access 97 foi realizada a análise da rugosidade topográfica como indicador de risco potencial de erosão e assoreamento dos cursos d'água da bacia. A figura 5.2 apresenta a divisão da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia em nove sub-bacias.

FIG. 5.2: Sub-bacias formadoras da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.



A tabela 5.2 apresenta as nove sub-bacias com as referidas áreas em km<sup>2</sup> e o seu percentual sobre a área da bacia:

TABELA 5.2: Sub-bacias da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.

SUB-BACIA	DENOMINAÇÃO	ÁREA (km <sup>2</sup> )	% ÁREA TOTAL
1	Sub-bacia Itacolomi	26,401	20,12
2	Sub-bacia Santa Tecla	16,355	12,47
3	Sub-bacia Sapucaia Norte-1	9,880	7,53
4	Sub-bacia Sapucaia Norte-2	8,986	6,85
5	Sub-bacia Sapucaia Norte-3	11,091	8,45
6	Sub-bacia Arroio Esteio	6,805	5,19
7	Sub-bacia Sapucaia Sul	25,160	19,18
8	Sub-bacia Arroio Guajuviras	15,157	11,55
9	Sub-bacia Esteio-Centro	11,357	8,66
<b>ÁREA TOTAL:</b>		<b>131,192</b>	<b>100</b>

A amplitude altimétrica, a densidade de drenagem e o índice de rugosidade foram calculados para as nove sub-bacias, os valores obtidos encontram-se na tabela 5.3.

TABELA 5.3: Índice de rugosidade calculado para as sub-bacias.

SUB-BACIA	Dd	H	Ir
1 – Itacolomi	0,001318	208,26	0,2745
2 - Santa Tecla	0,001140	196,90	0,2246
3 - Sapucaia Norte-1	0,000911	125,32	0,1141
4 - Sapucaia Norte-2	0,001307	189,33	0,2476
5 - Sapucaia Norte-3	0,000974	79,15	0,0771
6 - Arroio Esteio	0,000571	19,09	0,0109
7 - Sapucaia Sul	0,000255	18,03	0,0046
8 - Arroio Guajuviras	0,000672	27,02	0,0182
9 - Esteio-Centro	0,001054	7,30	0,0077

#### 5.1.4 ANÁLISE DA REDE HIDROGRÁFICA

Segundo Chorley e Hagget (1974), os modelos morfométricos em hidrologia buscam estabelecer interações dos eventos hidrológicos e a geometria das bacias de drenagem (morfometria), ou seja, como as características da rede de drenagem podem ser racionalizadas com base na teoria do escoamento/infiltração, possibilitando controlar o padrão de escoamento das precipitações sobre as bacias, auxiliando na racionalização de eventos hidrológicos extremos.

a) Relação de bifurcação: definida por R.E. Horton (1945) como sendo a relação entre o número total de segmentos de uma certa ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior, é uma forma de caracterização da drenagem. Neste cálculo não são considerados os comprimentos dos canais mas somente seus pontos de origem e confluência.

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad (5.2)$$

Onde:  $R_b$  = relação de bifurcação;

$N_u$  = número de segmentos de determinada ordem;

$N_{u+1}$  = número de segmentos da ordem imediatamente superior.

$$R_{b12} = 41/11 = 3,73$$

$$R_{b23} = 11/2 = 5,5$$

$$R_{b34} = 2/1 = 2$$

b) Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem: o comprimento médio dos canais é um parâmetro que caracteriza o sistema de drenagem e a relação entre os comprimentos médios dos canais de cada ordem caracteriza a composição da drenagem.

$$\boxed{L_m = \frac{L_u}{N_u}} \quad (5.3)$$

Onde:  $L_m$  = comprimento médio dos canais de determinada ordem;

$N_u$  = número de canais de determinada ordem.

$$\boxed{RL_m = \frac{Lm_u}{Lm_{u-1}}} \quad (5.4)$$

Onde:  $RL_m$  = relação entre os comprimentos médios dos canais;

$Lm_u$  = comprimento médio dos canais de determinada ordem;

$Lm_{u-1}$  = comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior.

$$L_{m1} = 76313,0411/41 = 1861,294$$

$$L_{m2} = 20239,7377/11 = 1839,976$$

$$L_{m3} = 10639,03/2 = 5319,515$$

$$L_{m4} = 21322,8881/1 = 21322,888$$

$$RL_{m12} = 1839,976/1861,294 = 0,989$$

$$RL_{m23} = 5319,515/1839,976 = 2,891$$

$$RL_{m34} = 21322,888/5319,515 = 4,0$$

c) Relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação: segundo Christofolletti (1980, p. 111) este parâmetro é “*um importante fator na relação entre a composição da drenagem e o desenvolvimento fisiográfico das bacias hidrográficas*”, se a relação entre o comprimento médio e o índice de bifurcação forem iguais o tamanho médio dos canais crescerá ou diminuirá na mesma proporção, se não forem iguais o tamanho dos canais poderá diminuir ou aumentar progressivamente com a elevação da ordem dos canais pois, ainda segundo Christofolletti (1980) “*são os fatores hidrológicos, morfológicos e geológicos que determinam o último grau de desenvolvimento da drenagem em determinada bacia.*”

$$\boxed{R_{lb} = \frac{R_{lm}}{R_b}} \quad (5.5)$$

Onde:  $R_{lb}$  = relação entre o índice do comprimento médio e o de bifurcação;

$R_{lm}$  = índice do comprimento médio entre duas ordens subseqüentes;

$R_b$  = relação de bifurcação entre as mesmas duas ordens subseqüentes.

$$R_{lb12} = 0,989/3,73 = 0,265$$

$$R_{lb23} = 2,891/5,5 = 0,526$$

$$R_{lb34} = 4,0/2,0 = 2,0$$

d) Comprimento do canal principal: o comprimento do canal principal pode ser definido por diferentes critérios, optou-se por utilizar os critérios seguintes:

- Em cada bifurcação, a partir da desembocadura, optar pelo ligamento de maior magnitude (Christofolletti, 1980, p. 111);
- Considerar como canal principal o curso d'água mais longo, da desembocadura da bacia até determinada nascente, medido como a soma dos comprimentos dos seus ligamentos (Shreve, 1974:1168).

$$L = 35151,347 \text{ m} = 35,15 \text{ km}$$

e) Extensão do percurso superficial: representa a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente, segundo Christofolletti (1980) corresponde a uma das variáveis independentes mais importantes que afeta tanto o desenvolvimento hidrológico como o fisiográfico das bacias de drenagem.

$$\boxed{Eps = \frac{1}{2Dd}} \quad (5.6)$$

Onde:  $Eps$  = extensão do percurso superficial;

$Dd$  = densidade de drenagem.

$$Eps = 1 / 2 * 1,025 = 0,488$$

f) Relação do equivalente vetorial: o equivalente vetorial representa o comprimento de cada segmento fluvial de determinada ordem, em linha reta, que se estende do nascimento ao término do canal.

$$\text{Rev} = \frac{Ev_u}{Ev_{u-1}} \quad (5.7)$$

Onde: Rev = relação do equivalente vetorial;

$Ev_u$  = grandeza média dos equivalentes vetoriais de determinada ordem;

$Ev_{u-1}$  = grandeza média dos equivalentes vetoriais de ordem imediatamente inferior à considerada.

$$\text{Rev}_{12} = 1667,8552/1639,0531 = 1,018$$

$$\text{Rev}_{23} = 4202,7977/1667,8552 = 2,520$$

$$\text{Rev}_{34} = 17882,4854/4202,7977 = 4,255$$

g) Relação entre os gradientes dos canais: o gradiente dos canais é a relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término com o comprimento do segmento fluvial e indica a declividade dos cursos de água.

$$\text{Rgc} = \frac{Gc_u}{Gc_{u+1}} \quad (5.8)$$

Onde: Rgc = relação entre os gradientes dos canais;

$Gc_u$  = declividade média dos canais de determinada ordem;

$Gc_{u+1}$  = declividade média dos canais de ordem imediatamente superior.

$$\text{Rgc}_{12} = 5,28/1,63 = 3,2393$$

$$\text{Rgc}_{23} = 1,63/0,35 = 4,6571$$

$$\text{Rgc}_{34} = 0,35/0,18 = 1,944$$

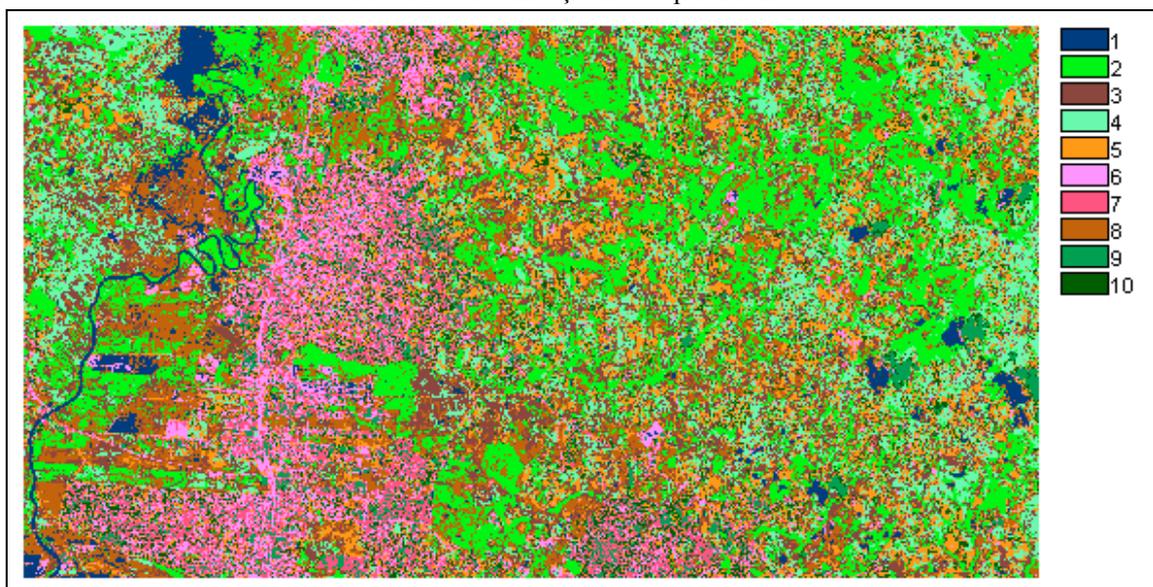
A tabela 5.4 apresenta os valores obtidos na análise da rede hidrográfica.

TABELA 5.4: Análise da rede hidrográfica.

ORDEM	Nº SEGMENTOS	Rb	COMP. MÉDIO (M)	Rlm	Rlb	Rev	Rgc
1ª	41		1861,294				
		3,73		0,989	0,265	1,018	3,2393
2ª	11		1839,976				
		5,5		2,891	0,526	2,520	4,6571
3ª	2		5319,515				
		2		4,0	2,0	4,255	1,944
4ª	1		21322,888				

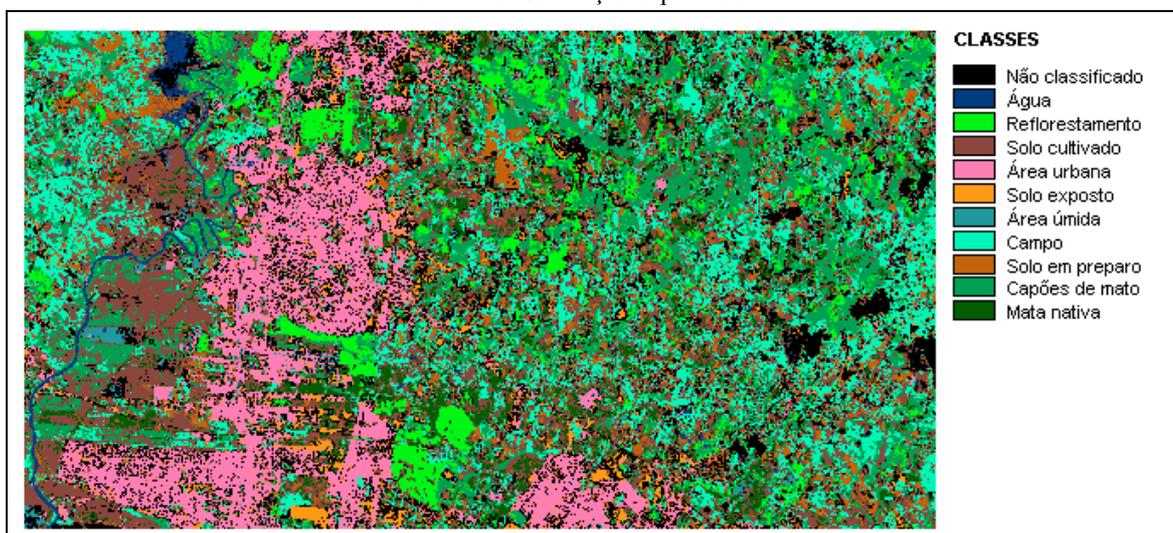
## 5.2 CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA

FIG. 5.3: Classificação não supervisionada.



## 5.3 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

FIG. 5.4: Classificação supervisionada.



A classificação supervisionada (figura 5.4) foi efetuada utilizando o método da Máxima Verossimilhança (*maximum likelihood*) e com base na classificação não supervisionada (figura 5.3), obtida a partir do método ISODATA. O resultado final da classificação apresentou um coeficiente Kappa de 0,9155 e resultou nos valores percentuais de *pixels* em cada classe e de *pixels* classificados corretamente na área considerada conforme apresenta a tabela 5.5.

TABELA 5.5: Resultado da classificação - uso do solo.

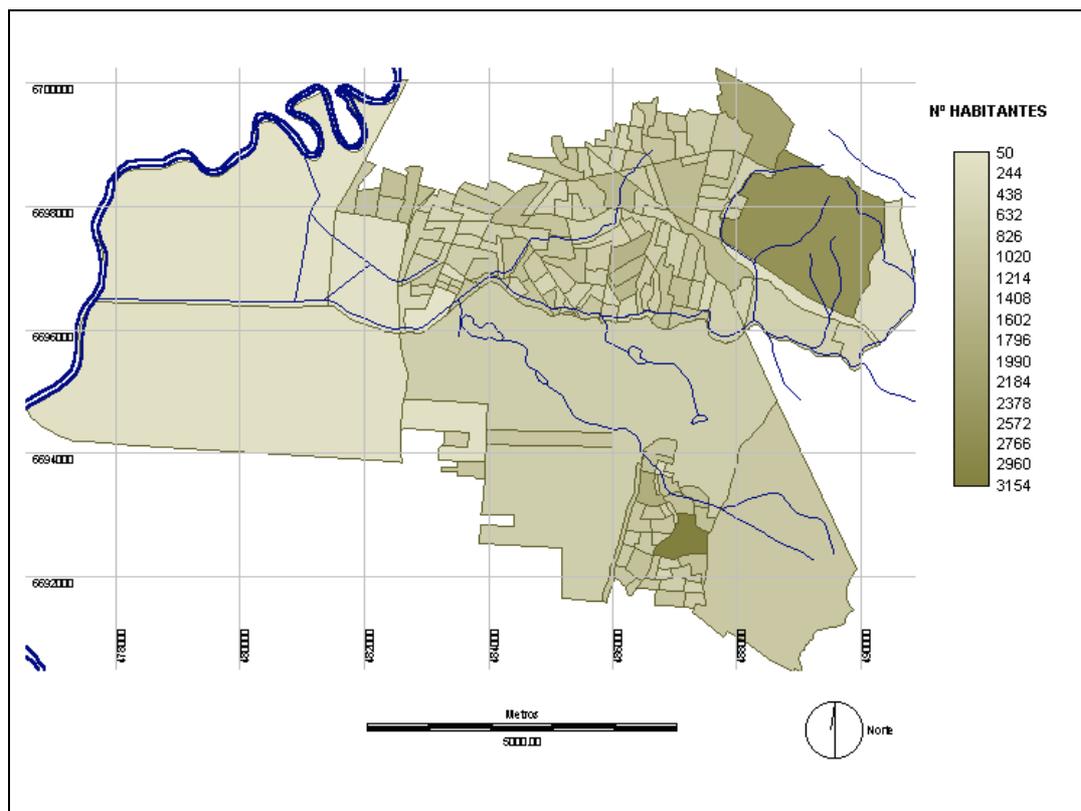
CLASSE	% DE PIXELS	% DE PIXELS CLAS. CORRETAMENTE
Água	5,31	96,08
Reflorestamento	17,17	93,98
Mata nativa	9,89	92,06
Solo cultivado	17,30	87,42
Área urbana	14,13	90,73
Solo exposto	4,79	92,90
Área úmida	7,04	96,61
Campo	7,85	95,55
Solo em preparo	9,18	96,26
Capões de mato	5,96	91,79
Não classificados	1,38	x-x-x

## 5.4 ESPACIALIZAÇÃO DOS RESULTADOS E COMENTÁRIOS

### 5.4.1 Índice de Desenvolvimento Humano – IDH

O índice de desenvolvimento humano, em suas três dimensões, é aplicado tomando como base o número de habitantes por setor censitário. Observando-se a distribuição da população nos três municípios apresentada na figura 5.5, percebe-se uma grande variabilidade nos municípios de Esteio e Sapucaia do Sul, caracterizando-os como bastante heterogêneos com relação a distribuição espacial da população. É possível perceber também alguns setores de baixíssima densidade populacional, especialmente os situados junto à foz do arroio Sapucaia, onde predomina a atividade agrícola, ou de alta densidade como dois setores ao norte de Sapucaia do Sul e um ao norte de Canoas junto ao bairro Guajuviras. Esses setores de alta densidade populacional localizam-se em áreas mais afastadas do centro dos municípios onde há predominância da população de baixo poder aquisitivo, conforme pode ser verificado na análise do índice IDH em sua dimensão renda.

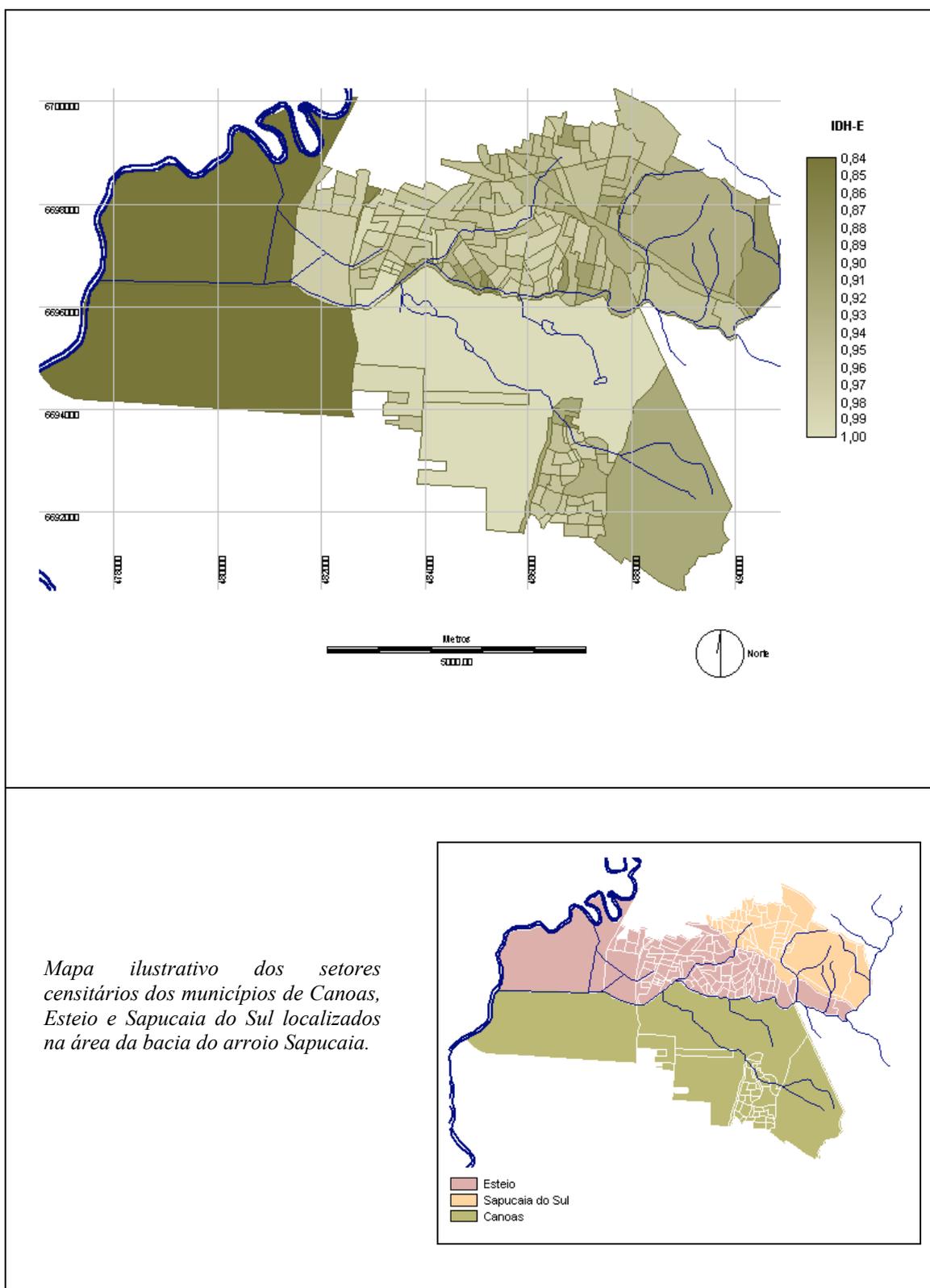
FIG. 5.5: Número de habitantes por setor censitário.



Com o desdobramento das três dimensões do índice IDH, educação, longevidade e renda, é possível avaliar separadamente a influência de cada uma dessas variáveis na composição final do índice.

A dimensão educação apresentou bons resultados nos três municípios, como pode ser observado na figura 5.6 o índice varia de 0,84 a 1,0, valores que, segundo o PNUD, são representativos de alto desenvolvimento humano. Os valores mais baixos pertencem a áreas periféricas e setores voltados a atividade agrícola, neste caso com baixa densidade populacional. O município de Esteio apresenta os melhores resultados, pode-se destacar a homogeneidade dos setores, com exceção daqueles situados às margens do arroio Sapucaia na fronteira como o município de Canoas que são bastante heterogêneos e apresentam os valores mais baixos, o que torna-se particularmente significativo considerando-se que são setores de densidade populacional elevada. Os municípios de Canoas e Sapucaia do Sul apresentam valores mais baixos e uma maior variabilidade entre os setores, podem-se destacar os dois setores mais populosos de cada município onde se verificam valores relativamente baixos em relação ao total dos valores obtidos.

FIG. 5.6: IDH – Dimensão Educação

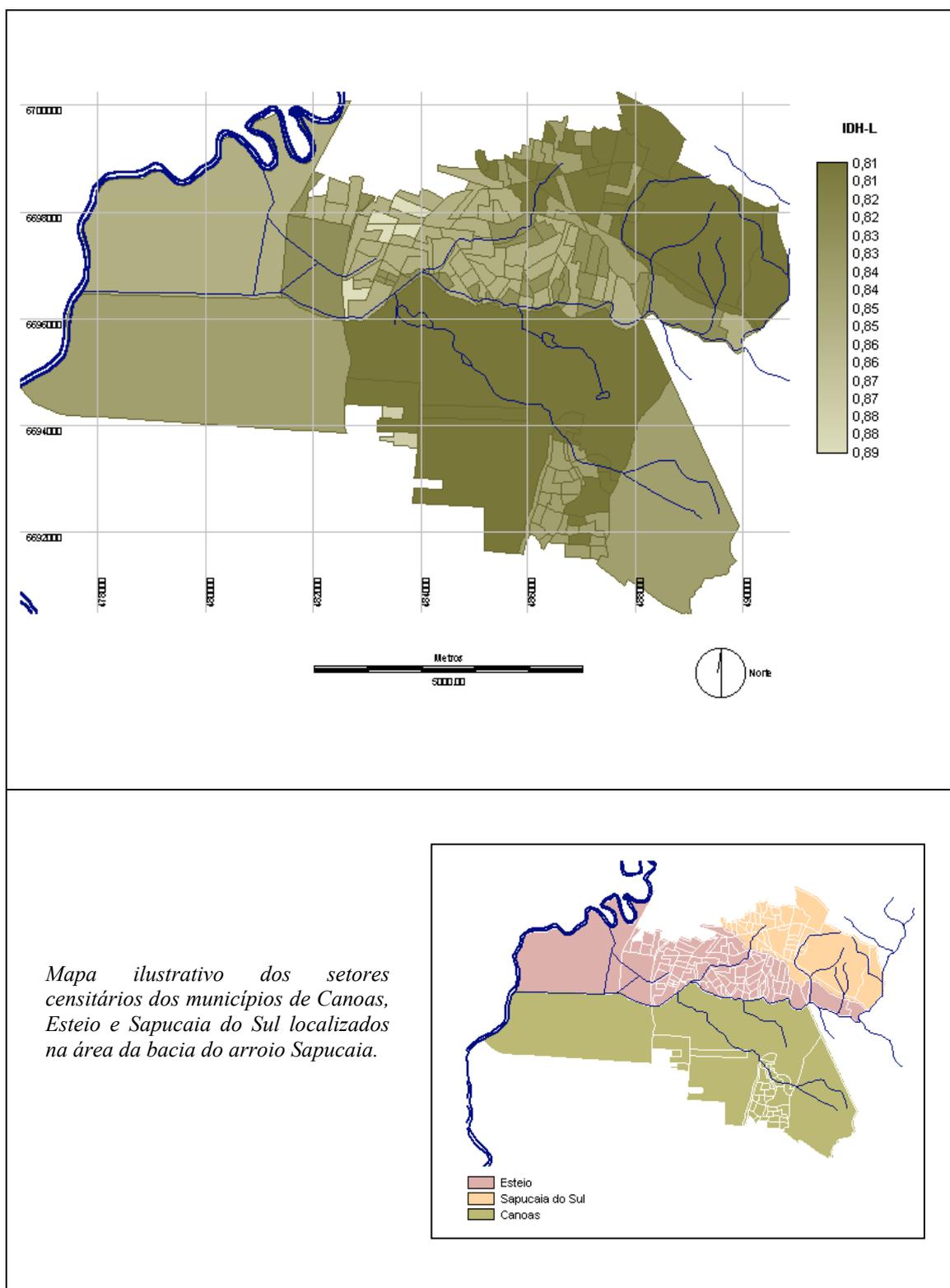


A dimensão longevidade é a que apresenta menor variabilidade e também a que possui o limite superior mais baixo, ou seja, a maior parte dos setores censitários cuja população ultrapassa a esperança de vida ao nascer dos municípios, o faz em percentuais pouco significativos. O índice apresenta valores de 0,81 a 0,89, esta baixa variabilidade justifica-se pela forma de cálculo elaborada a partir de patamares que formam grupos de valores.

É relevante o fato do índice superar o valor de 0,800 podendo-se, neste caso, considerar essa dimensão com alto grau de desenvolvimento humano, porém sem atingir o patamar de 1,0 como ocorre nas demais dimensões. É bastante difícil avaliar o grau de influência do fator longevidade em áreas de pequenas dimensões como o setor censitário, contudo é possível perceber que existe uma forte ligação com o fator renda e as condições de saneamento ambiental.

Os municípios de Esteio e Canoas apresentam os melhores resultados, destacando-se poucos setores em Esteio localizados junto a área central do município que atingem os maiores valores. É importante destacar os setores localizados às margens do arroio Sapucaia no município de Esteio e Canoas que apresentaram os valores mais baixos para este índice, assim como grande parte dos setores do município de Sapucaia do Sul, conforme apresenta a figura 5.7.

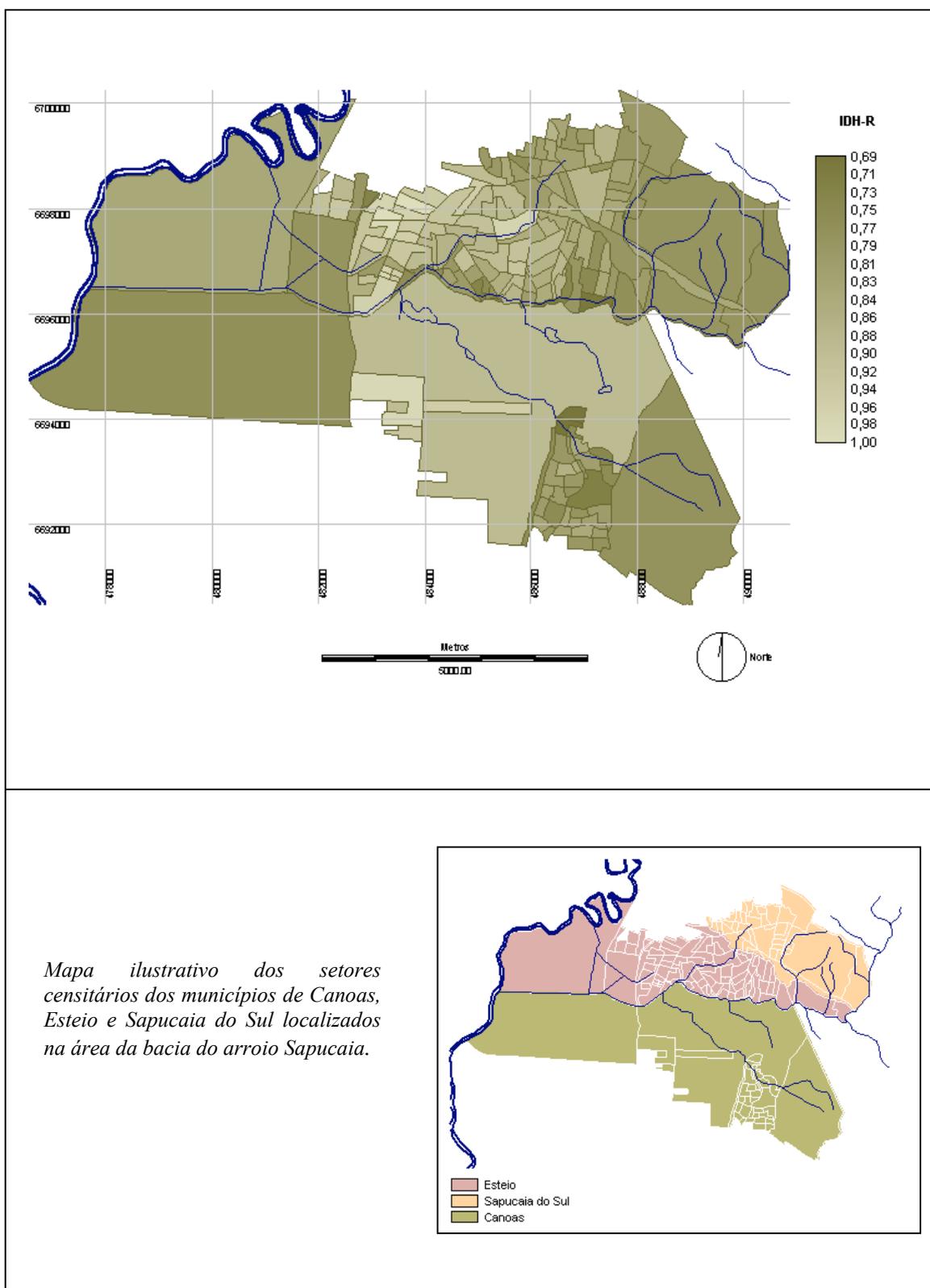
FIG. 5.7: IDH – Dimensão Longevidade



A dimensão renda foi a que apresentou maior variabilidade, destacando-se a amplitude do intervalo de valores que vai de 0,69 até 1,0 como pode ser observado na figura 5.8, isto indica de forma relevante a desigual distribuição de renda na região. Essa dimensão, ao contrário das demais, apresenta muitos setores com o índice abaixo de 0,800, ou seja, caracterizando um desenvolvimento humano médio.

Merecem destaque os setores localizados na fronteira entre os municípios de Esteio e Canoas, junto ao arroio Sapucaia, muitos setores ao norte de Sapucaia do Sul onde se verifica em alguns deles grande densidade populacional, e uma região bem definida ao norte do município de Canoas, junto ao núcleo habitacional Guajuviras, que apresentam baixos valores de renda. Também os setores junto à foz do arroio Sapucaia caracterizados por atividade agrícola apresentaram baixos valores para esse índice.

FIG. 5.8: IDH – Dimensão Renda

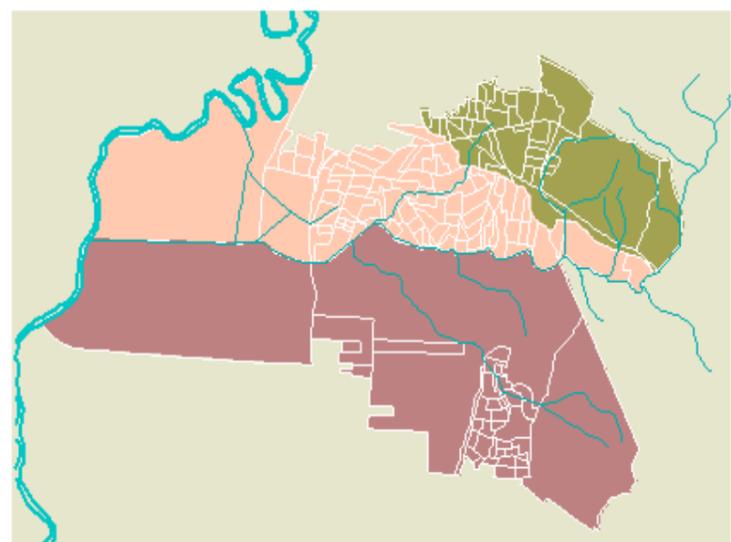
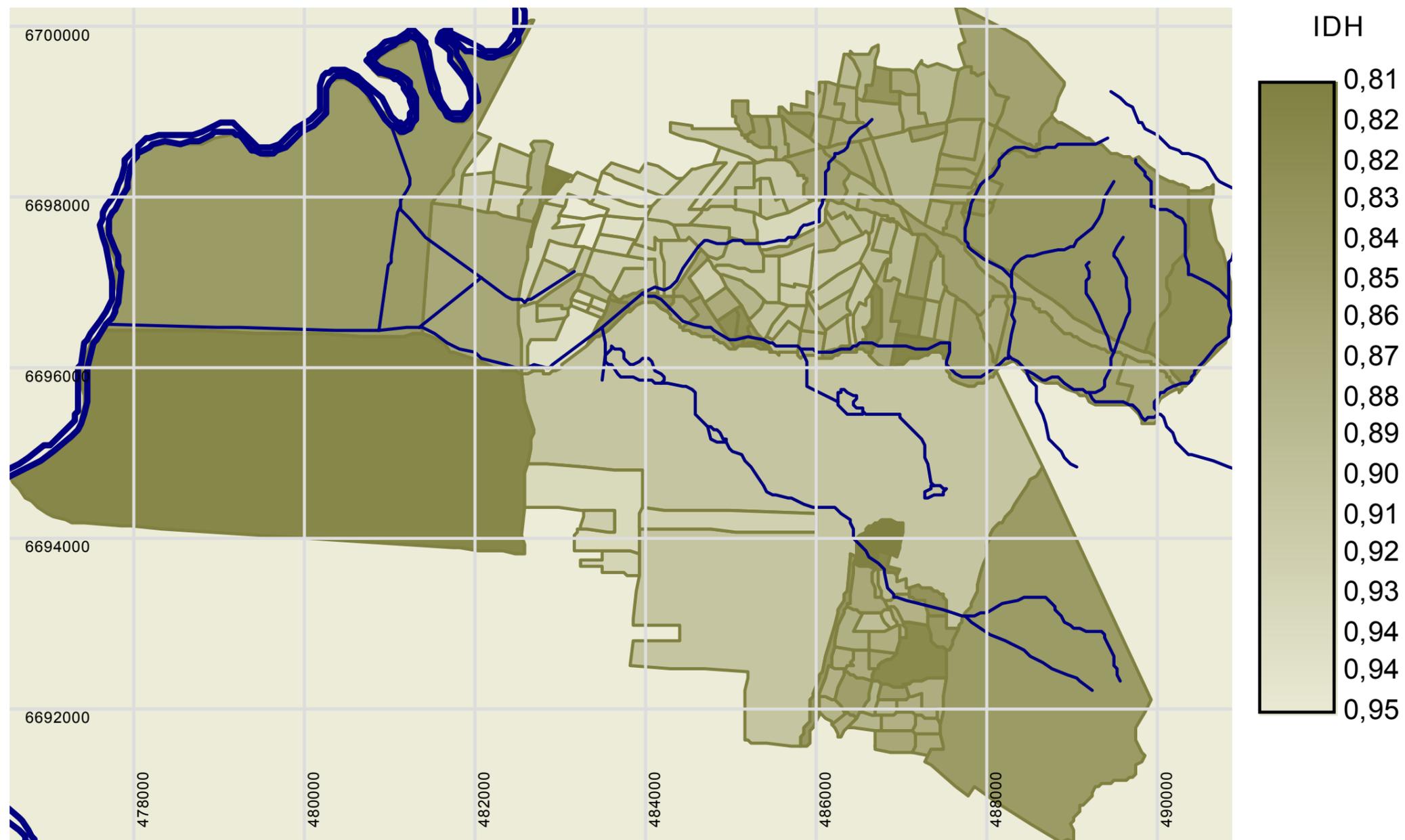


Na avaliação do índice de desenvolvimento humano pode-se observar pouca variabilidade nos valores, cujo intervalo obtido foi de 0,81 a 0,95, conforme mostra a figura 5.9, estes valores, de acordo com os padrões do PNUD, caracterizam um alto desenvolvimento humano (abaixo de 0,499: baixo desenvolvimento; 0,500 – 0,799: médio desenvolvimento e 0,800 – 1,0: alto desenvolvimento).

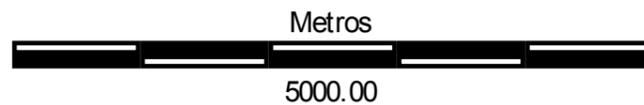
É possível identificar algumas áreas diferenciadas cujos índices correspondem aos mais baixos em relação ao universo dos três municípios analisados. É importante considerar a localização dos setores que apresentaram os índices mais baixos que em sua maioria ficam em zonas periféricas dos municípios como no caso dos setores localizados na fronteira entre Esteio e Canoas junto às margens do arroio Sapucaia. Pode-se destacar ainda uma região mais uniforme onde predominam os índices mais baixos ao norte no município de Sapucaia do Sul.

Analisando as três dimensões pode-se concluir que devido a amplitude do intervalo dos valores e a distribuição espacial mais bem definida da dimensão renda, é provável que ela influencie mais significativamente o valor final do IDH. Considerando a forma de cálculo do índice pode-se considerar que a sua adaptação em relação a forma de cálculo original foi mais eficiente na dimensão renda, ou seja, a avaliação da renda com base no valor *per capita* dos responsáveis por domicílios particulares permanentes é significativa em relação a renda *per capita* da população. Contudo é importante considerar também que esta forma de cálculo pode ter contribuído para amortizar diferenças extremas.

FIG. 5.9: IDH - Índice de Desenvolvimento Humano



Esteio  
Sapucaia do Sul  
Canoas

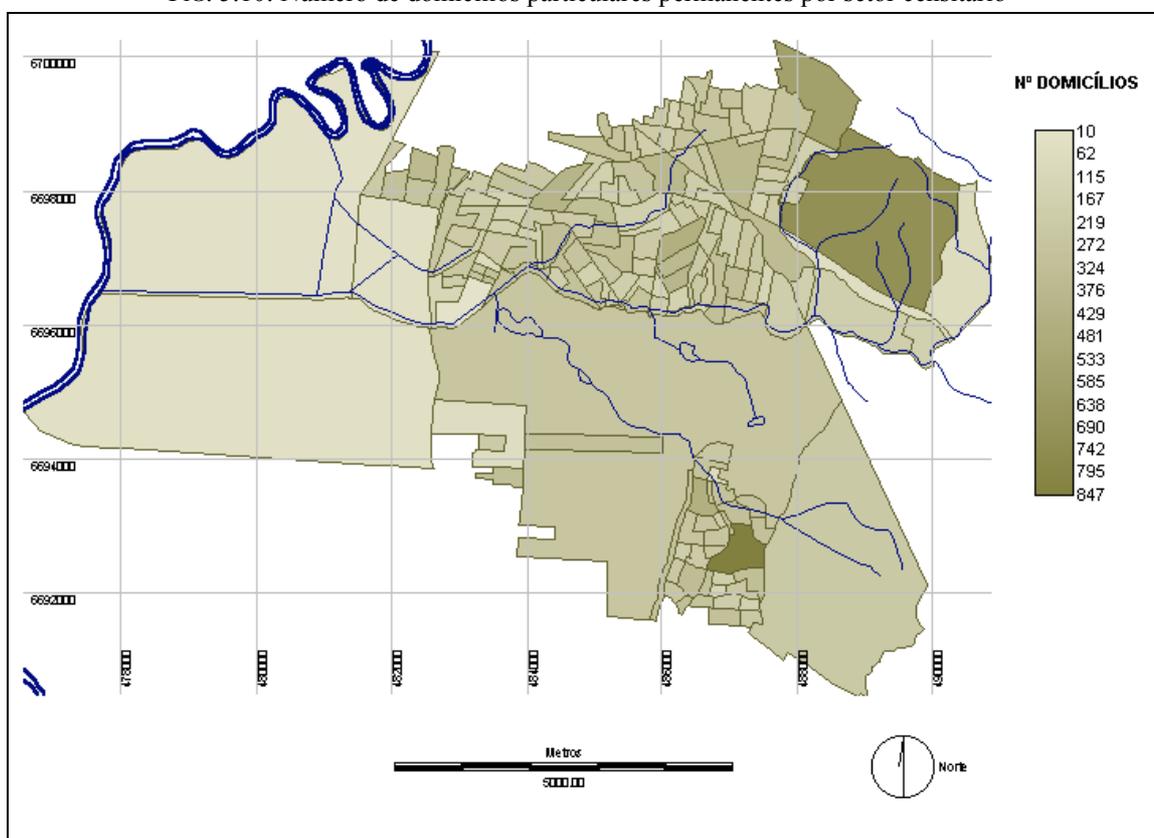


Setores censitários na área da bacia.

#### 5.4.2 Índice de Saneamento Ambiental – ISA

O cálculo do índice de saneamento ambiental é efetuado tomando por base o número de domicílios particulares permanentes por setor censitário, a partir desse valor são consideradas as condições mínimas com relação ao saneamento: situação do abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de lixo. Os valores para os domicílios estão coerentes com a distribuição da população como pode ser observado na figura 5.10, com baixa ocorrência de domicílios improvisados, indicando que as áreas analisadas encontram-se já consolidadas do ponto de vista de urbanização.

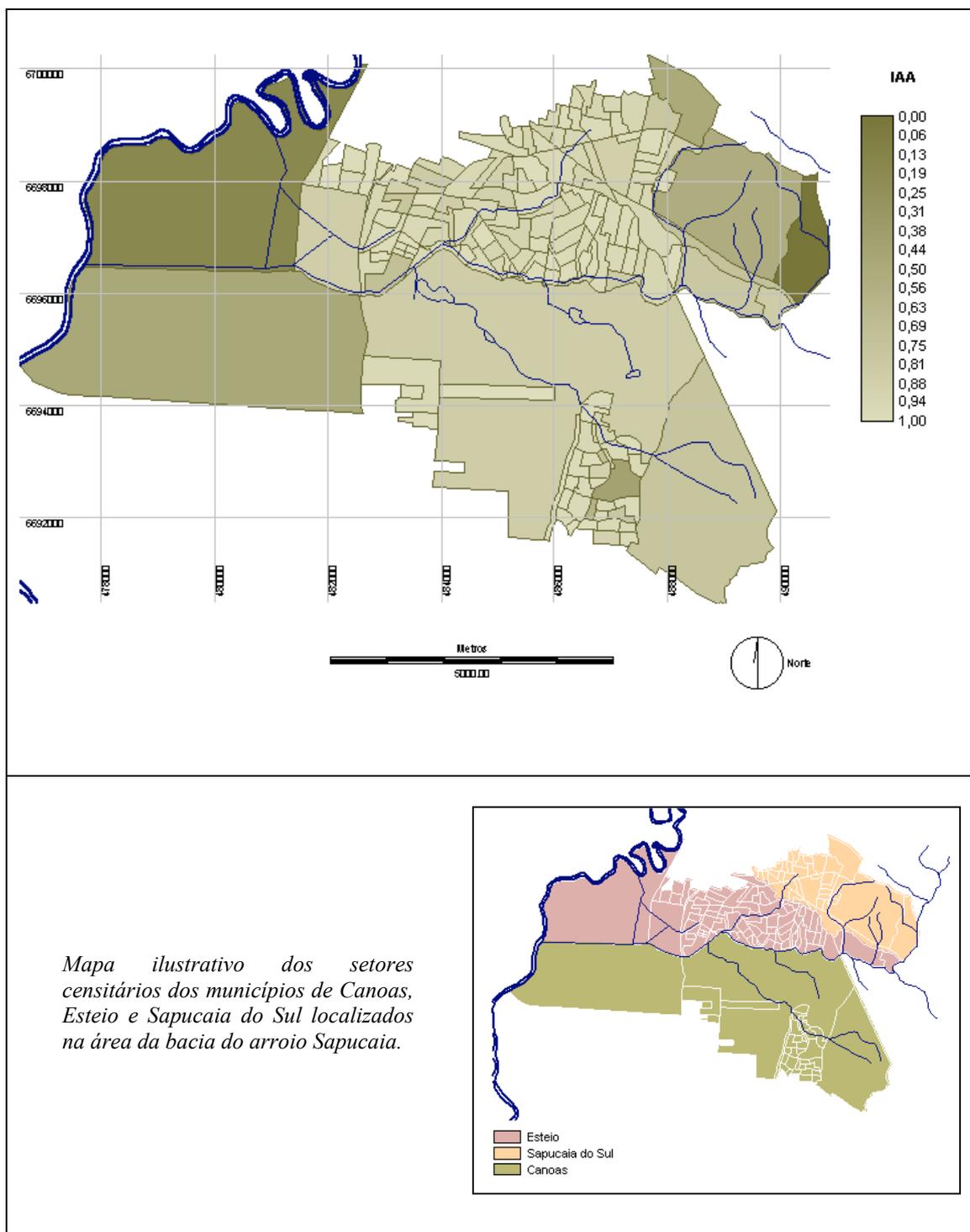
FIG. 5.10: Número de domicílios particulares permanentes por setor censitário



Quanto ao abastecimento de água, merece destaque o fato de que este é o primeiro dos índices obtidos que apresenta o valor zero como parâmetro inferior, com intervalo de 0 a 1,0 como pode ser observado na figura 5.11. Este fato pode ser atribuído ao grande número de domicílios que se abastecem de fontes alternativas como poços construídos nas propriedades, sobretudo em áreas onde predominam atividades agrícolas. Merecem destaque também dois setores de Sapucaia do Sul e um de Canoas

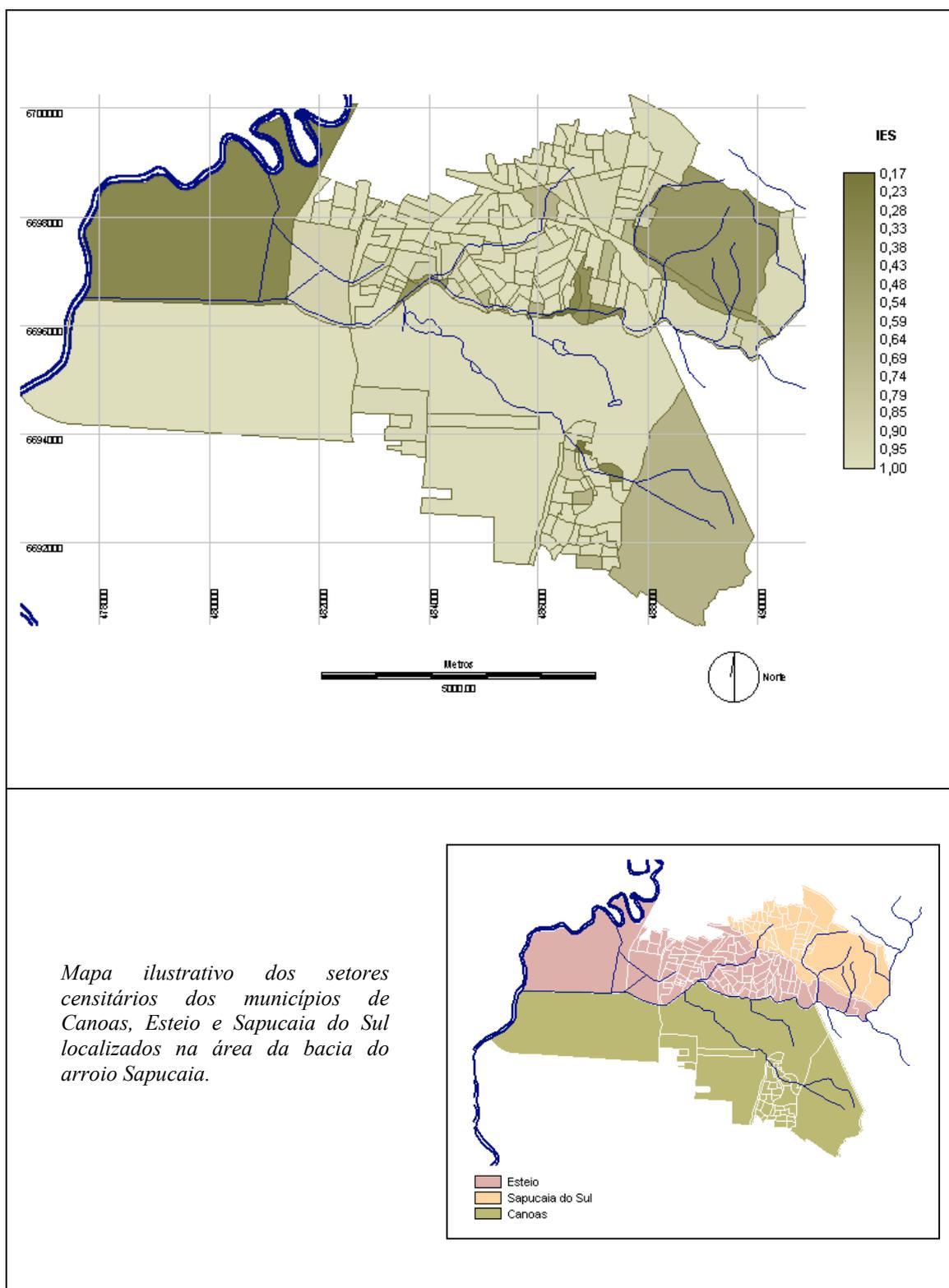
que apresentam um baixo índice de abastecimento de água e são os três setores mais populosos considerando os três municípios.

FIG. 5.11: ISA – Abastecimento de Água



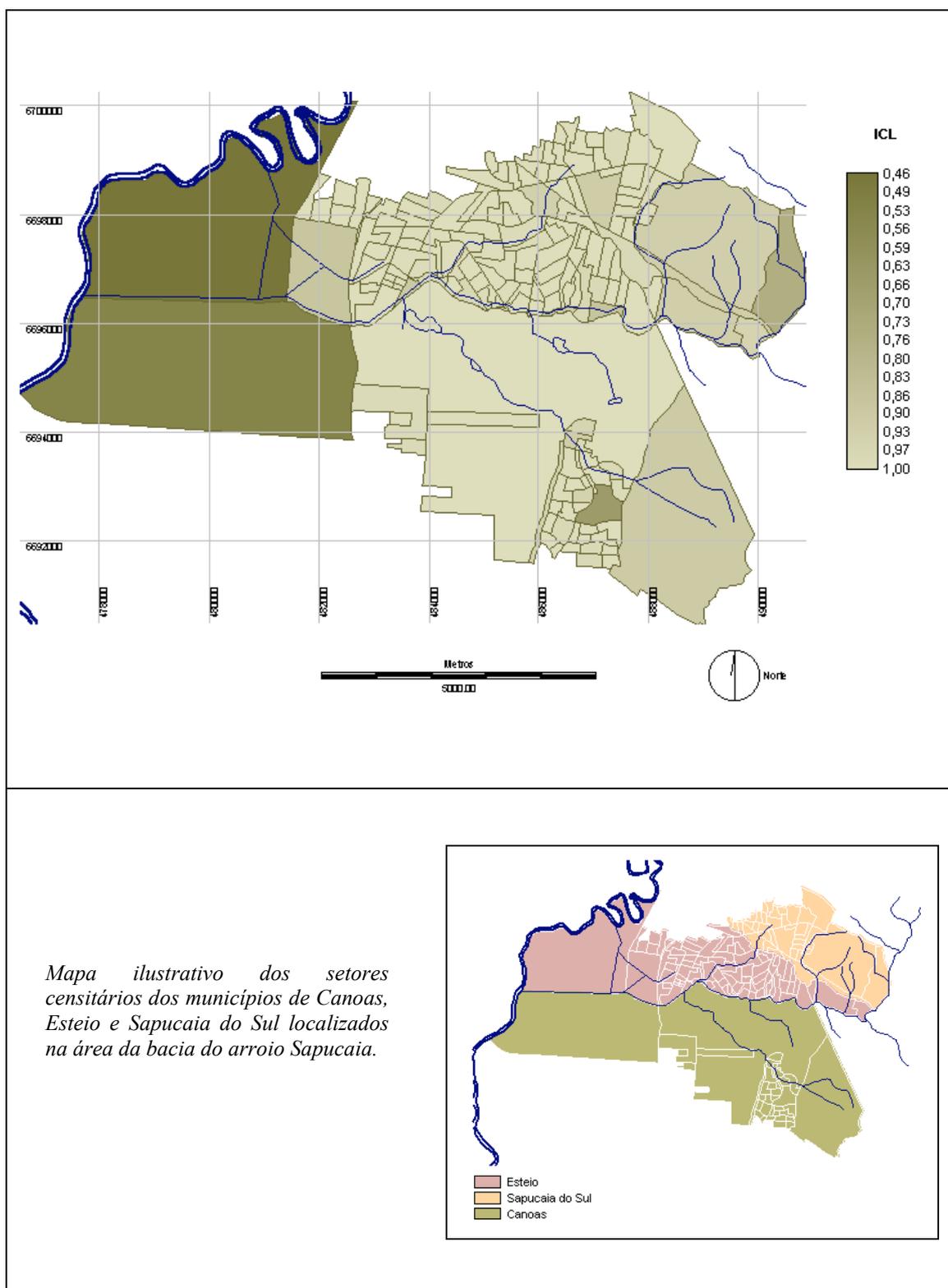
O índice de esgotamento sanitário apesar de apresentar uma amplitude menor do que o índice de abastecimento de água (0,17 A 1,0), mostra-se como um diferencial daquelas áreas de grande precariedade de saneamento como a região marginal ao arroio Sapucaia na fronteira entre os municípios de Canoas e Esteio ou ao norte do município de Sapucaia do Sul onde um dos setores mais populosos da bacia apresenta um índice de esgotamento sanitário muito baixo. Este fato é bastante relevante uma vez que os lançamentos de esgotos não tratados nos corpos de água são tão mais danosos ao meio ambiente quanto maior for a carga orgânica que é proporcional ao número de habitantes. O índice de esgotamento sanitário pode ser considerado bastante significativo no valor final do Índice de Saneamento Ambiental e pode ser observado na figura 5.12.

FIG. 5.12: ISA – Esgotamento Sanitário



O índice de coleta de lixo foi o que apresentou menor variabilidade (0,46 a 1,0), o resultado para os três municípios é consideravelmente homogêneo com apenas dois setores situados junto à foz do arroio Sapucaia e um situado no município de Canoas apresentando os índices mais baixos como pode ser observado na figura 5.13. Esta homogeneidade verificada justifica-se pelo fato de que a área considerada está quase totalmente urbanizada e com coletas regulares por parte dos serviços de limpeza urbana. Os bons resultados do ICL podem ser atribuídos também ao trabalho de educação ambiental desenvolvido pelas prefeituras junto às comunidades no sentido de dar uma destinação adequada aos resíduos sólidos e estimular as atividades de reciclagem.

FIG. 5.13: ISA – Coleta de Lixo

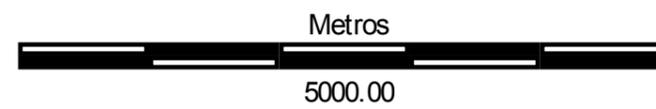
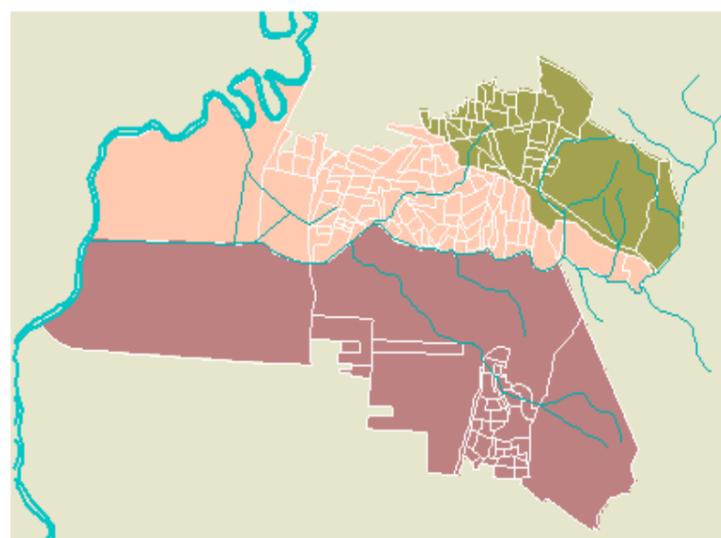
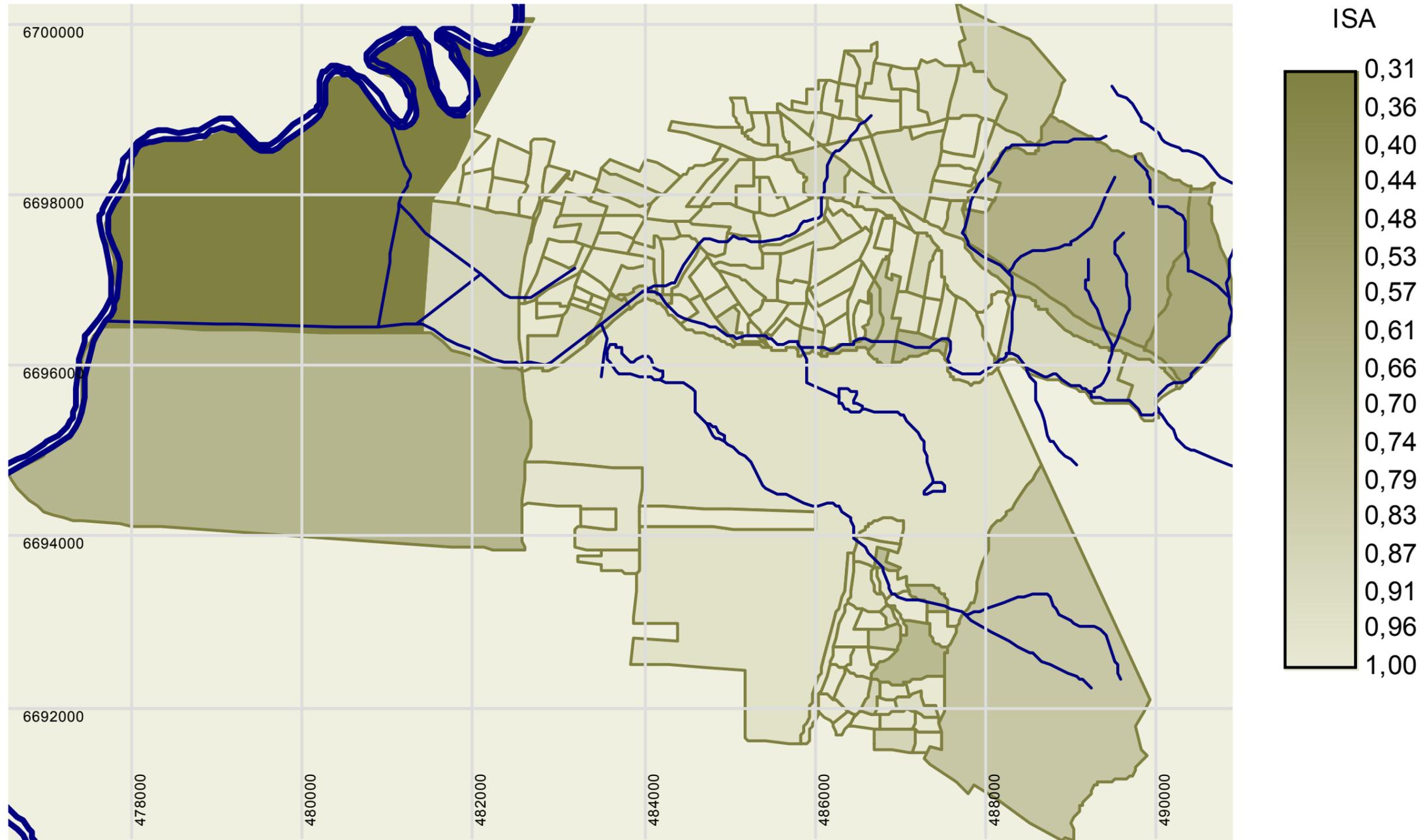


Na avaliação do índice de saneamento ambiental pode-se observar uma grande variabilidade nos valores, cujo intervalo obtido foi de 0,31 a 1,0, conforme mostra a figura 5.14. Esses valores, se comparados aos os padrões do PNUD para medir o grau de desenvolvimento humano, analogamente caracterizariam três níveis de excelência na questão do saneamento (abaixo de 0,499: baixo; 0,500 – 0,799: médio e 0,800 – 1,0: alto).

Os setores que apresentam os índices mais baixos localizam-se junto à foz do arroio Sapucaia em área de atividade agrícola, às margens do arroio Sapucaia no município de Esteio, ao norte do município de Sapucaia do Sul em setores densamente povoados e no município de Canoas junto ao núcleo habitacional Guajuviras.

A dimensão que exerce maior influência na composição do índice é o esgotamento sanitário, e isto revela-se principalmente nos setores totalmente urbanizados, pois nesses locais tanto o abastecimento de água quanto a coleta de lixo funcionam regularmente mas a infra-estrutura na área de esgotamento sanitário ainda é bastante precária, sobretudo naquelas áreas menos valorizadas muito próximas dos cursos de água, como é o caso dos arroios Sapucaia, Esteio e Moinho. Este fato é particularmente importante, uma vez que grande parte desses domicílios que não possuem nenhum tipo de tratamento para os seus esgotos fazem o lançamento dos mesmos diretamente nos cursos de água, o que é altamente prejudicial ao meio ambiente e à saúde dessas comunidades.

FIG. 5.14: ISA - Índice de Saneamento Ambiental



Setores censitários na área da bacia.

### 5.4.3 Áreas de conflito de uso

O resultado das operações de análise espacial referentes a identificação de áreas de conflito de uso, ou seja, áreas de preservação permanente irregularmente ocupadas, apresentou os seguintes valores:

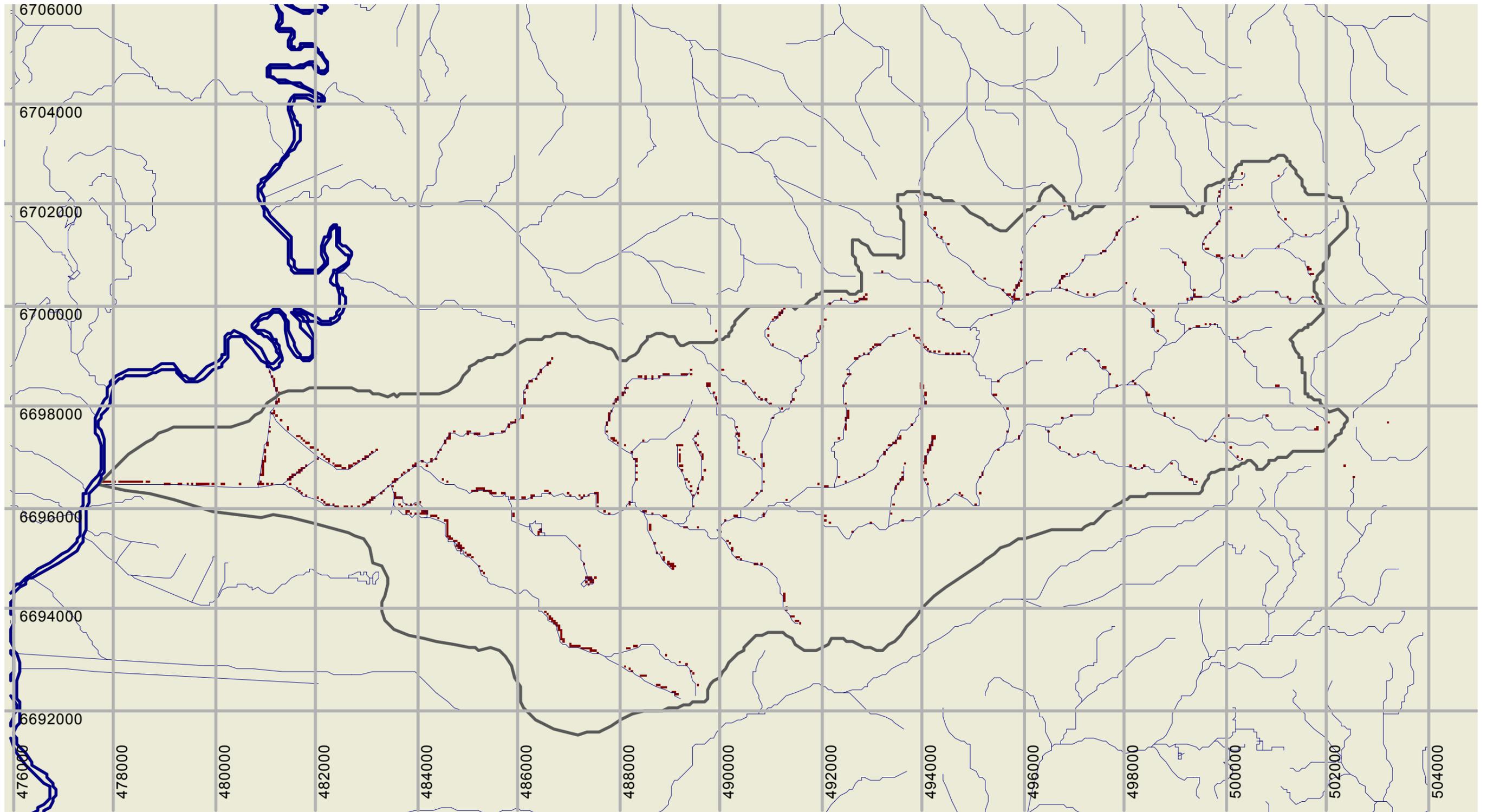
- Áreas de preservação permanente: 20,63 km<sup>2</sup>;
- Áreas de conflito de uso: 5,35 km<sup>2</sup>;
- Percentual de áreas irregularmente ocupadas em relação ao total de áreas de preservação permanente: em torno de 26%.

As áreas de conflito de uso identificadas distribuem-se ao longo de toda a bacia mas aparecem em maior quantidade na área urbana e na área de plantio (orizicultura) junto à foz do arroio Sapucaia. Estas áreas referem-se principalmente às faixas de 30 m nas margens dos arroios destinadas a manutenção da mata ciliar e ao redor dos lagos e barragens, como pode ser observado na figura 5.15.

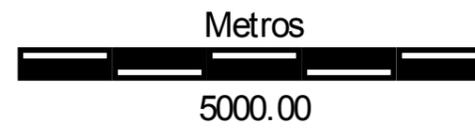
Nas áreas urbanizadas verifica-se a ocupação das margens dos cursos d'água mais notadamente os casos dos arroios Esteio e Moinho que possuem suas nascentes localizadas em área urbana. Nas áreas onde encontram-se as maiores altitudes e predomina a agricultura de pequenas propriedades pode-se destacar a ocupação das áreas de nascentes, o que é altamente comprometedor do ponto de vista ambiental e especificamente na questão de qualidade da água.

Percebe-se ainda algumas áreas isoladas na região onde encontram-se as maiores altitudes (áreas de nascentes) que são aquelas com declividades superiores a 45%, contudo a maioria das áreas de conflito de uso identificadas estão situadas às margens dos cursos de água.

FIG. 5.15: Áreas de conflicto de uso



 Áreas de conflicto de uso



#### 5.4.4 Avaliação do uso e ocupação do solo em relação ao índice de rugosidade

Com o objetivo de avaliar o uso e ocupação do solo em relação ao índice de rugosidade foram definidos, com base na classificação da imagem, os usos predominantes em cada sub-bacia, que é a unidade espacial básica para a avaliação do índice de rugosidade, os resultados estão descritos na tabela 5.6.

TABELA 5.6: Uso do solo predominante por sub-bacia.

SUB-BACIA	USO PREDOMINANTE	IR
1 - Itacolomi	campo (26%), capões de mato (25%) e solo cultivado (23%)	0,274
2 – Santa Tecla	capões de mato (30%) e solo cultivado (24%)	0,225
3 – Sapucaia Norte 1	solo cultivado (25%)	0,077
4 – Sapucaia Norte 2	solo cultivado (29%) e campo (20%)	0,247
5 – Sapucaia Norte 3	área urbana (26%) e solo cultivado (19%)	0,114
6 – Arroio Esteio	área urbana (60%)	0,011
7 – Sapucaia Sul	solo cultivado (29%)	0,005
8 – Arroio Guajuviras	área urbana (28%)	0,018
9 – Esteio-Centro	solo cultivado (39%), área urbana (28%)	0,008

As sub-bacias que apresentam os índices de rugosidade mais elevados são Itacolomi, Sapucaia Norte-2 e Santa Tecla, figura 5.17, contudo as informações a respeito do uso do solo mostram que a área de cultivo é bastante significativa nestas três sub-bacias, 23, 29 e 24% respectivamente, figura 5.16. Nas sub-bacias Itacolomi e Santa Tecla onde encontram-se as maiores altitudes há uma predominância da vegetação natural (campo e capões de mato) em relação ao solo cultivado o que não acontece na sub-bacia Sapucaia Norte 2 onde a área cultivada predomina sobre a vegetação natural (campo). Este pode ser um bom indicativo de risco à erosão tendo em vista que um alto índice de rugosidade aliado à prática intensiva da agricultura pode favorecer a desagregação do solo tornando-o potencialmente instável, ou seja, mais suscetível aos processos naturais causadores da erosão. A ocupação urbana concentra-se nas sub-bacias do arroio Esteio (60%), do arroio Guajuviras (28%), Esteio-Centro (28%) e Sapucaia Norte 3 (26%) onde constataram-se valores intermediários do índice de rugosidade. Três destas sub-bacias são tipicamente urbanas (arroio Esteio, arroio Guajuviras e Sapucaia Norte 3) mas a sub-bacia Esteio-Centro possui uma particularidade que é a predominância de solo cultivado (área muito plana e de cotas baixas junto à foz do arroio Sapucaia) apesar do alto percentual de ocupação urbana. Na sub-bacia com o índice de rugosidade mais baixo, Sapucaia Sul, predomina a atividade agrícola.

FIG. 5.16: Uso e ocupação do solo

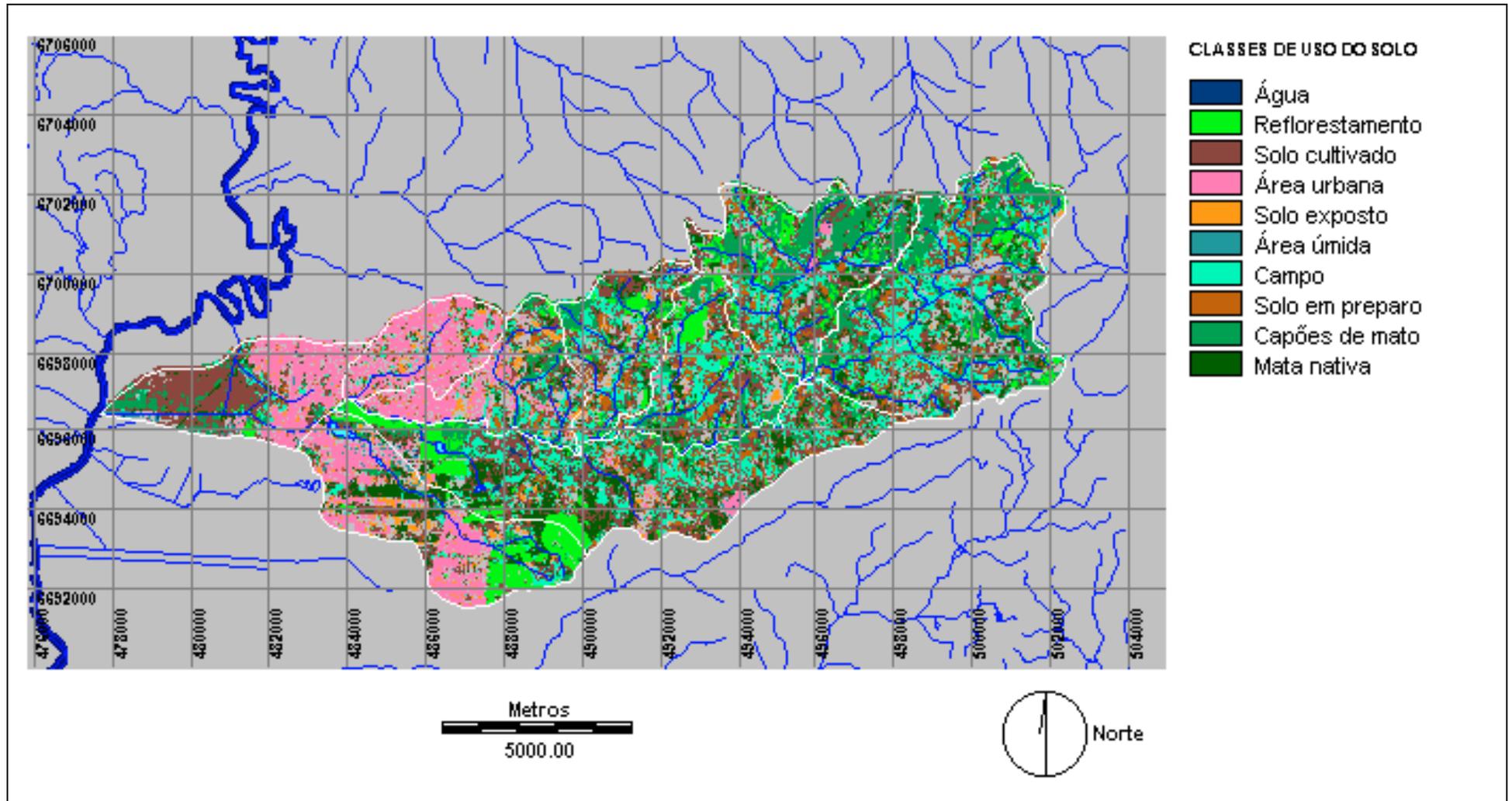
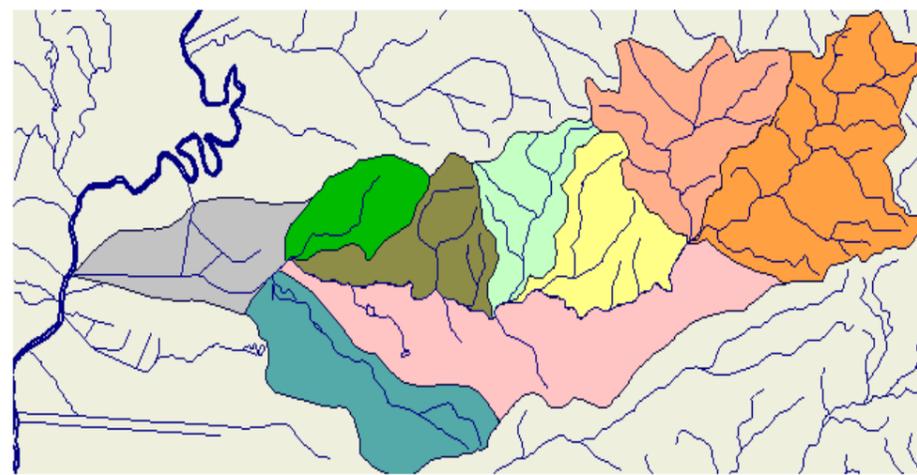
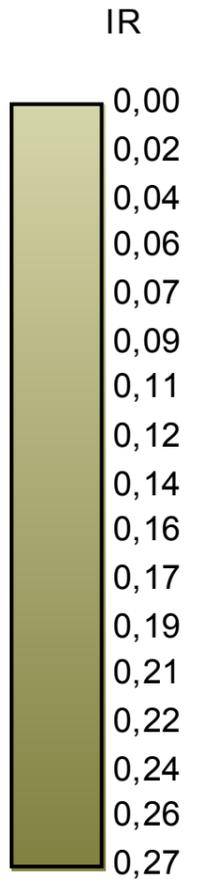
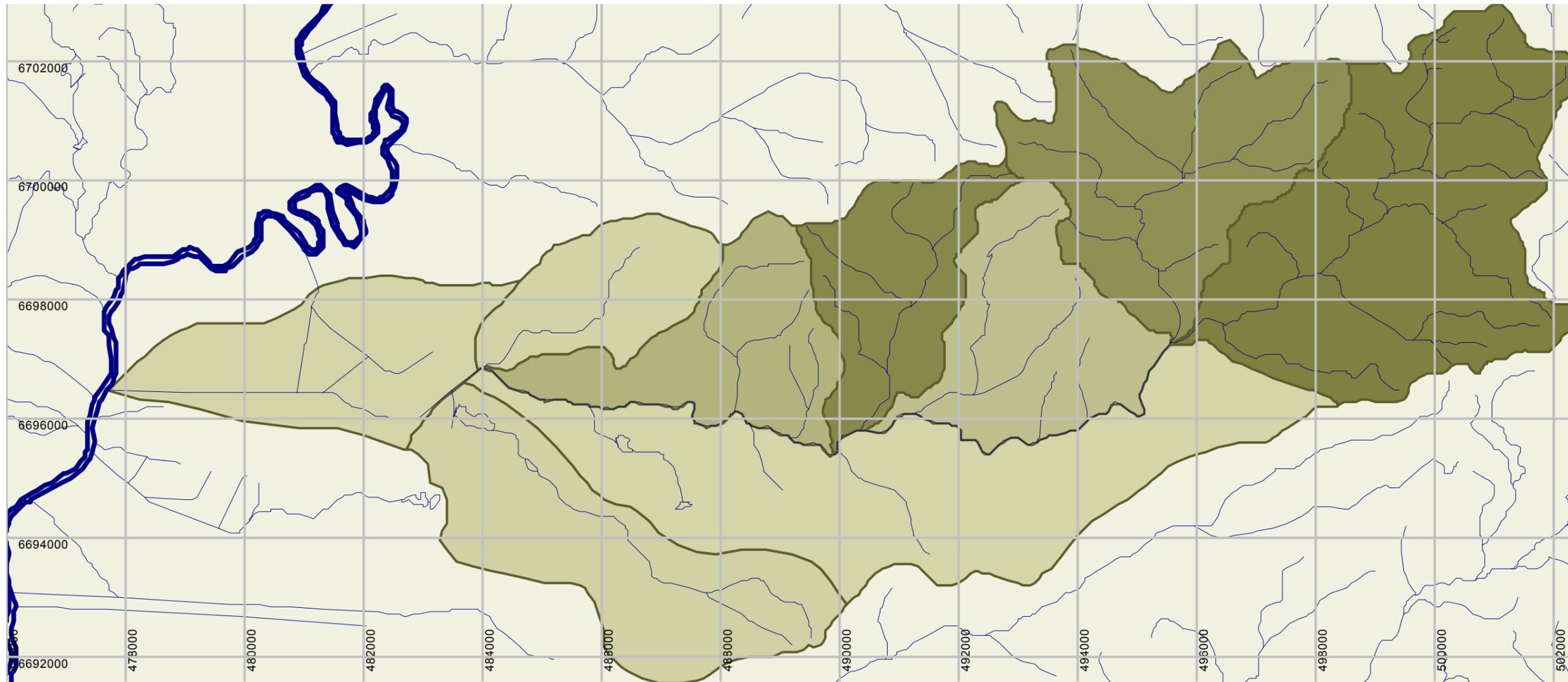
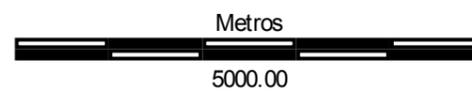


FIG. 5.17: Índice de Rugosidade



- SUB-BACIAS
- Itacolomi
  - Santa Tecla
  - Sapucaia Norte-1
  - Sapucaia Norte-2
  - Sapucaia Norte-3
  - Arroio Estrelo
  - Sapucaia Sul
  - Arroio Guajuviras
  - Estrelo-Centro

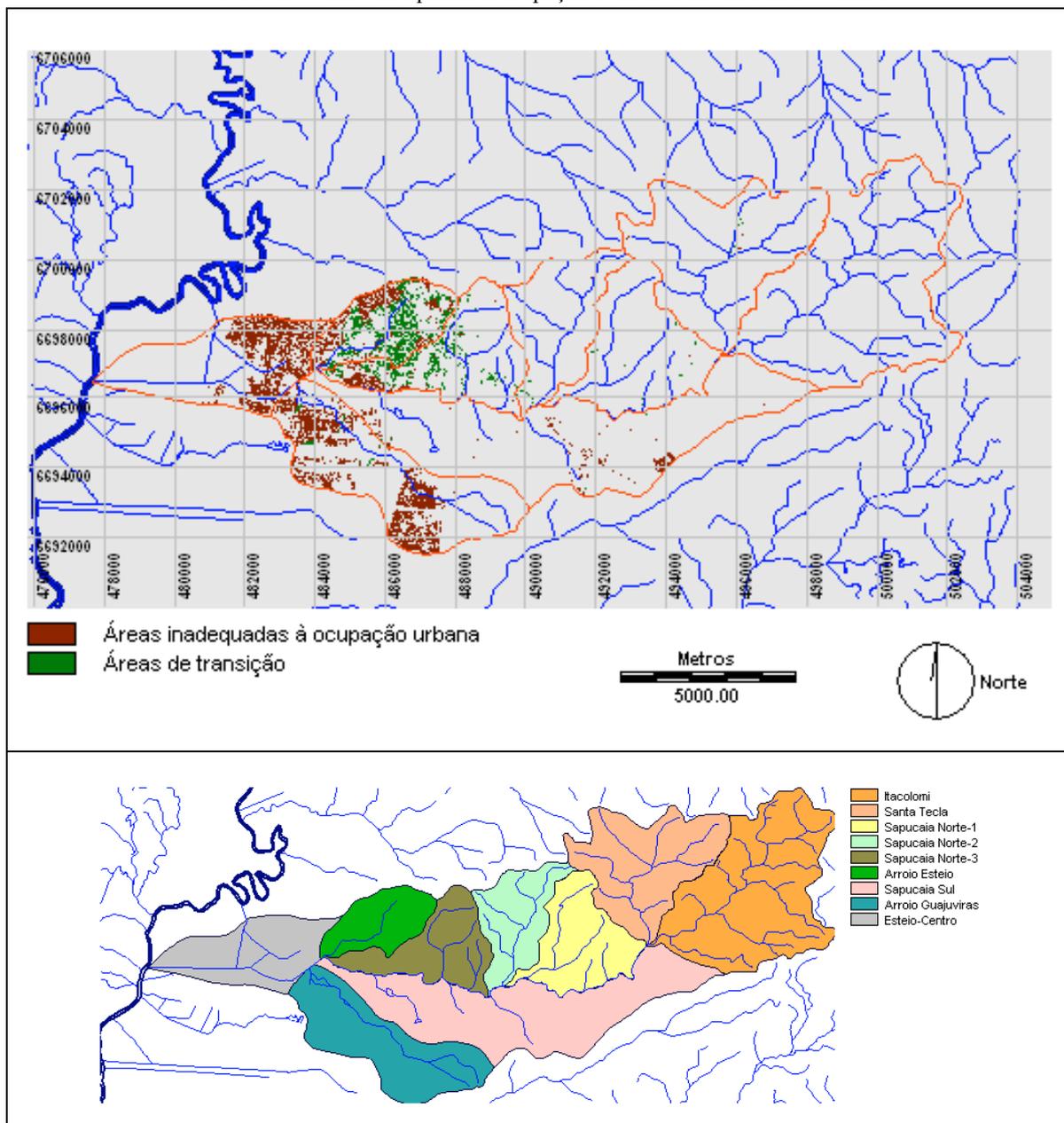


Sub-bacias do arroio Sapucaia.

#### 5.4.5 Avaliação da ocupação urbana em função da declividade

Através desta avaliação foi possível constatar que 19% da área urbana da bacia encontra-se em áreas classificadas como inadequadas para este tipo de uso de acordo com os critérios adotados inicialmente e aproximadamente 7% encontra-se em regiões classificadas como áreas de transição. É importante considerar que a maior parte destas áreas classificadas como inadequadas referem-se a locais com declividades inferiores a 6%, são regiões muito planas no baixo curso do arroio Sapucaia que encontram-se ocupadas pela área urbana no município de Esteio, por uma concentração de indústrias ao longo da BR 116, e pela orizicultura junto à foz. Nesta situação podem ser destacadas as sub-bacias do arroio Esteio, Esteio-Centro e do arroio Guajuviras. As regiões consideradas inadequadas por possuírem declividades acima de 25% encontram-se próximas às nascentes, nas zonas de altitudes mais elevadas e com ocupação urbana inexpressiva. O mapeamento das áreas inadequadas e de transição é apresentado na figura 5.18.

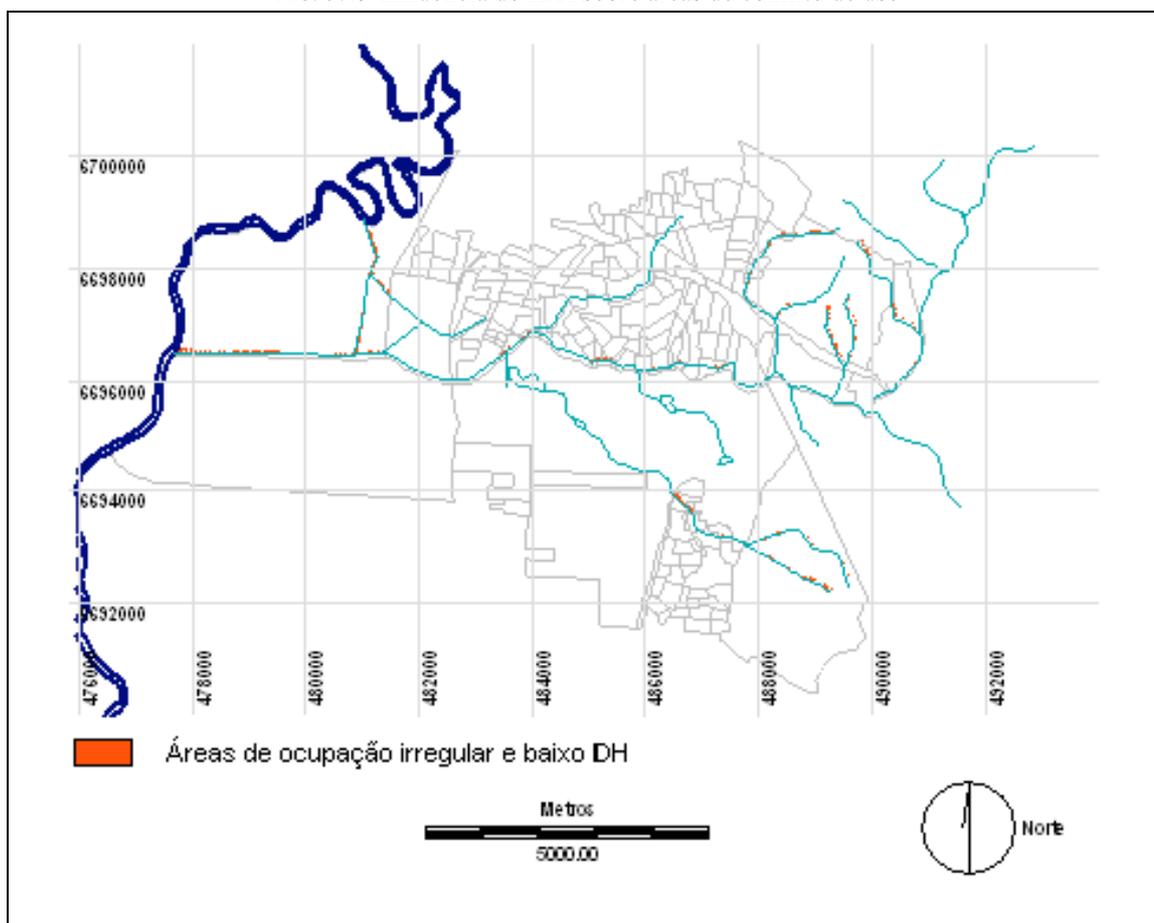
FIG. 5.18: Áreas inadequadas à ocupação urbana relativas à declividade.



#### 5.4.6 Verificação da influência da variável sócio-ambiental sobre as áreas de conflito de uso

A avaliação da influência da variável sócio-ambiental sobre as áreas de conflito de uso demonstrou que de um total de 5,35 km<sup>2</sup> de áreas de preservação permanente irregularmente ocupadas, 2,98 km<sup>2</sup>, aproximadamente 56%, são ocupadas por comunidades que apresentam condições de saneamento e desenvolvimento humano muito abaixo da média para os três municípios incluídos neste estudo, revelando a relação existente entre o processo de ocupação do solo e os fatores sócio-econômicos. Entretanto, é importante considerar que analisando separadamente os dois índices em relação a estas áreas constatou-se uma influência ligeiramente maior do IDH em relação ao ISA conforme apresentam as figuras 5.19 e 5.20.

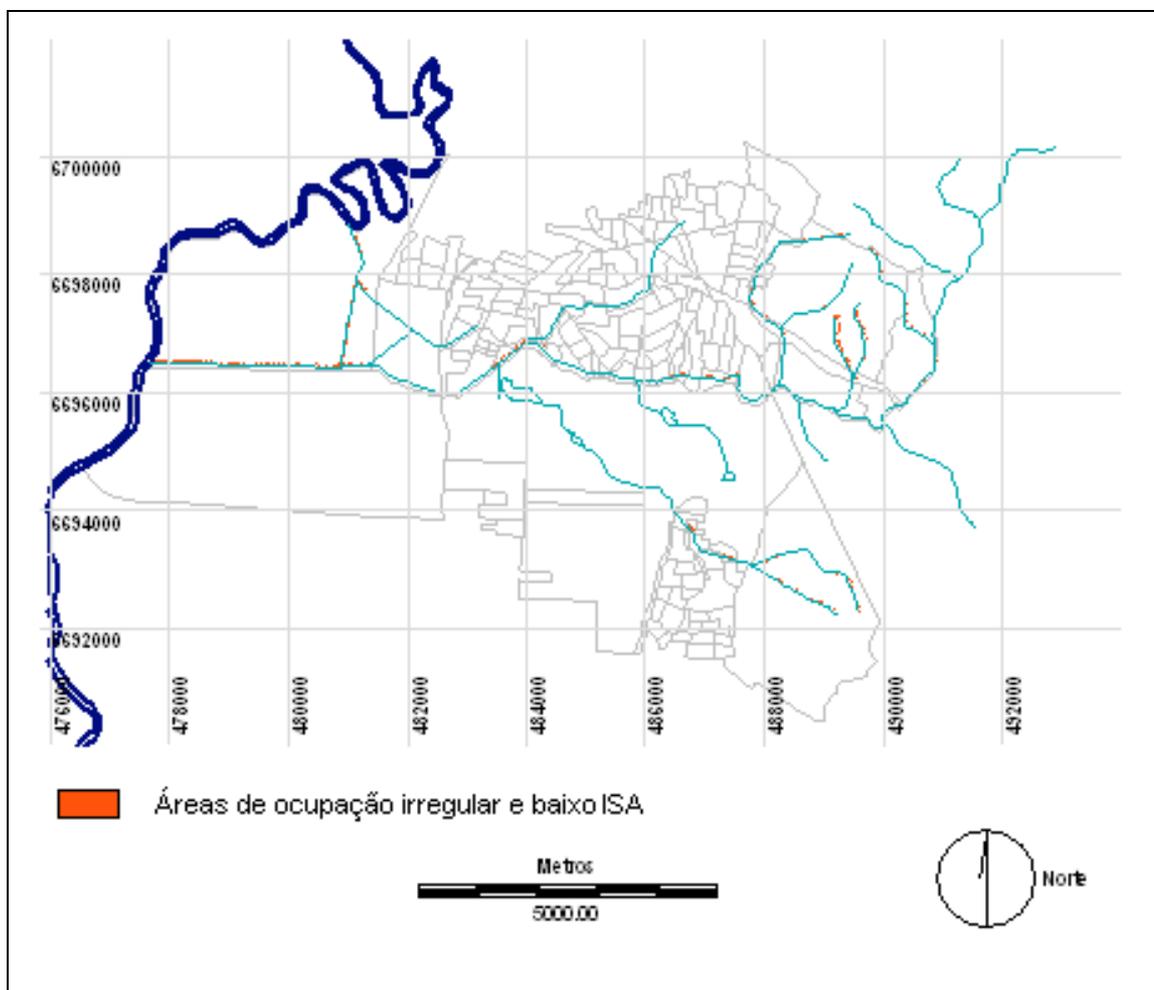
FIG. 5.19 Influência do IDH sobre áreas de conflito de uso



Constatou-se que 57% das áreas irregularmente ocupadas (áreas de conflito de uso) apresentam um baixo índice IDH enquanto que em torno de 43% dessas áreas apresentam baixos índices ISA, este fato pode ser atribuído à relevância da

dimensão renda em relação as outras variáveis consideradas na composição dos índices.

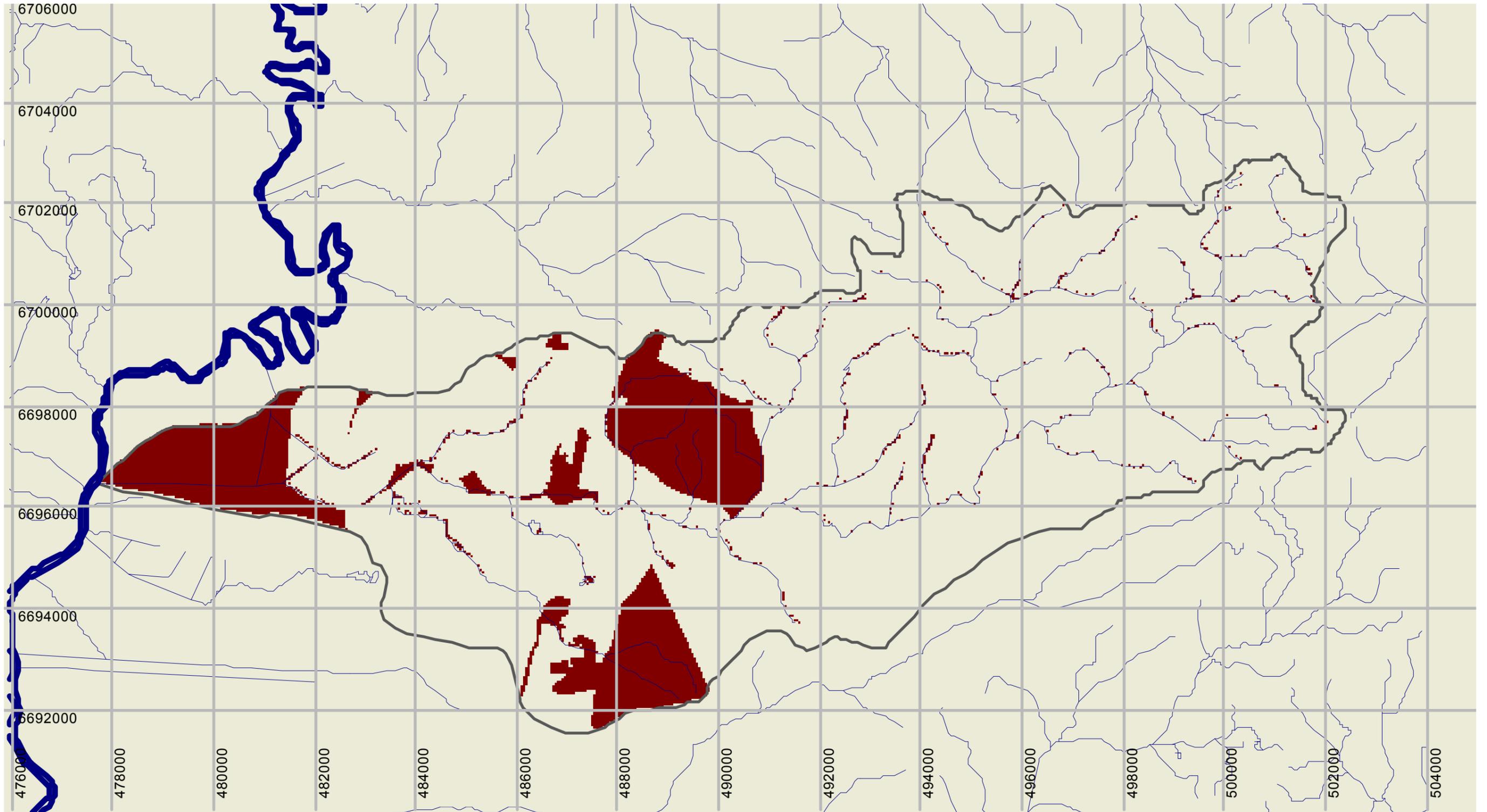
FIG. 5.20 Influência do ISA sobre áreas de conflito de uso



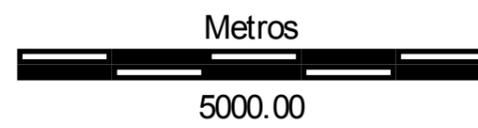
#### 5.4.7 Áreas de risco potencial

O mapeamento das áreas de risco potencial no âmbito da bacia apresentado na figura 5.21, foi efetuado considerando os setores em situação de risco sócio-ambiental, aqueles cujos índices ficaram abaixo dos limiares estabelecidos para o IDH e o ISA, e as áreas de conflito de uso identificadas. O índice de rugosidade foi apresentado separadamente na figura 5.17 pois considerando-se que o mesmo abrange três sub-bacias, situação em que coincidiriam muitos pontos com as áreas de conflito de uso optou-se por privilegiar neste mapa essas áreas apresentando o risco potencial relativo ao meio físico separadamente.

FIG. 5.21: Áreas de risco potencial



 Áreas de risco potencial



## 6. CONCLUSÃO

Os métodos propostos neste trabalho para a avaliação dos riscos potenciais à qualidade da água da bacia do arroio Sapucaia mostraram-se ricos em possibilidades e adequados para utilização em bacias hidrográficas situadas em áreas urbanas, sobretudo quando não se dispõe de dados em quantidade e qualidade suficientes para conferir consistência a estudos mais aprofundados. Todas avaliações foram efetuadas com informações extraídas da cartografia, de uma imagem orbital, de dados do Censo Demográfico 2000 e de levantamentos de campo. Os dados foram convenientemente organizados em planos de informação e incorporados a um SIG, o que possibilitou o cruzamento das informações obtendo importantes indicativos de risco e demonstrando o potencial das técnicas de SIG e sensoriamento remoto quando utilizadas de forma integrada.

Os índices utilizados para a avaliação do risco sócio-ambiental com dados referentes às condições de saneamento e desenvolvimento humano da população revelaram aspectos interessantes e de elevada importância para o tema abordado, sobretudo no que se refere ao saneamento ambiental. Na aplicação do índice de saneamento ambiental - ISA foram observados valores extremamente baixos para o abastecimento de água em alguns setores devido ao grande número de domicílios abastecidos por fontes alternativas, fato que em áreas urbanas oferece um grande risco de contaminação tanto da população como do meio ambiente pela contaminação das águas subterrâneas. Com relação ao índice de esgotamento sanitário destaca-se o elevado número de domicílios que efetuam o lançamento de seus esgotos diretamente nos cursos de água ou em valas a céu aberto bem como a situação de muitos domicílios permanentes que não possuem qualquer tipo de instalação sanitária.

Uma consideração importante a fazer é com relação às formas de esgotamento sanitário contempladas no Censo Demográfico 2000, a metodologia apresentada pelo IBGE discrimina muito bem alguns tipos de esgotamento como fossa séptica, fossa rudimentar e vala mas considera de forma indiscriminada o esgotamento

através de rede cloacal ou pluvial, o que inviabiliza avaliar o quanto deste esgoto realmente está sendo lançado nos cursos de água, o quanto está sendo somente afastado e o quanto está recebendo tratamento. Esta informação permitiria avaliações quantitativas importantes que poderiam fundamentar ações do poder público no sentido de melhorar as condições de vida destas comunidades e proteger o meio ambiente através da implementação de projetos integrados de saneamento.

É significativo observar que os valores obtidos com o IDH adaptado obedeceram a tendência demonstrada pelos valores de IDH-M para os três municípios, ou seja, os valores mais altos encontram-se no município de Esteio (IDH-M = 0,842), os valores intermediários no município de Canoas (IDH-M = 0,815) e os valores mais baixos no município de Sapucaia do Sul (IDH-M = 0,806). Isto demonstra a eficiência dos critérios utilizados na adaptação do índice e que as modificações na escolha das variáveis não comprometeram seu desempenho. Com relação às três dimensões que compõem o índice IDH os resultados menos significativos da adaptação do índice foram obtidos na dimensão longevidade que apresentou a menor amplitude de valores indicando que o critério adotado envolvendo somente a esperança de vida ao nascer e o percentual de população idosa não apresentou a eficiência esperada.

Com relação aos resultados obtidos na classificação da imagem orbital, é pertinente fazer as seguintes considerações: a heterogeneidade da área com várias classes de uso exigiu a seleção de um maior número de amostras de treinamento, o fato da imagem possuir uma resolução espacial de 15 m tende a agravar o problema do *pixel* mistura, a defasagem temporal entre a aquisição da imagem e o levantamento de campo dificultou o reconhecimento de certas feições. Além disto o fato de terem sido utilizadas apenas as bandas 1, 2 e 3, com o objetivo de preservar a resolução espacial de 15 metros ocasionou uma ligeira confusão nas classes de vegetação. A preservação dos 15 metros de resolução espacial mostrou-se particularmente útil na identificação de algumas feições como os remanescentes de matas ciliares, os próprios canais de drenagem e os limites da área urbana cuja informação na carta estava bastante defasada.

O conhecimento da área de estudo foi de fundamental importância não só para o desenvolvimento do trabalho mas também para a avaliação dos resultados obtidos, de forma particular com relação aos índices IDH e ISA a partir dos quais foi

possível fazer uma série de considerações relativas ao desenvolvimento de atividades produtivas, problemas recorrentes de infra-estrutura urbana, questões ambientais conhecidas e condições sócio-econômicas dos três municípios.

Avaliando os resultados obtidos considera-se que o trabalho atingiu plenamente seus objetivos demonstrando como as técnicas de SIG e sensoriamento remoto podem auxiliar no diagnóstico de problemas ambientais desenvolvendo formas de análise de resposta rápida e a baixo custo. O trabalho possibilita ainda a exploração de outras variáveis que podem influenciar a qualidade da água como por exemplo o desenvolvimento de atividades produtivas, o mapeamento de áreas impermeáveis ou mesmo considerações a respeito da distribuição da vegetação na área da bacia. Este tipo de análise poderia ser empregado como aporte a ações de recuperação de áreas degradadas e como um indicativo da necessidade de implantação de equipamentos urbanos em áreas carentes dos municípios melhorando a qualidade de vida das comunidades e preservando o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, F. R.; GARLICK, A. R.; HAYNS, M. R.; TAIG, A. R., eds (1992). *The management of risk to society from potencial accidents*. London, Elsevier.
- ARONOFF, S. *Geographic Information Systems: a management perspective*. Canada: WDL Publications, 1989, 293 p.
- ATTANASIO, M. R. J.; ATTANASIO, G. M. C. *Análise do Principio da Precaução e suas Implicações no Estudo de Impacto Ambiental*, 2000.
- BERMÚDEZ, F. L., RECIO, J. M. R., CUADRAT J. .M. *Geografía Física*. Madrid: Cátedra, 1992, 596 p.
- BRANCO, S. M. *Ecosistêmica uma abordagem integrada dos problemas do meio ambiente*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2ª Ed , 1999, 202 p.
- BRASIL, Lei Nº 4.771 de 15 de setembro de 1965 – Institui o novo Código Florestal.
- \_\_\_\_\_, Lei Nº 6.938 de 31 de agosto de 1981 – Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.
- \_\_\_\_\_, Constituição da República Federativa do Brasil de 5 de Outubro de 1988.
- \_\_\_\_\_, Lei Nº 7.803 de 18 de junho de 1989 – Altera a redação da Lei Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 e revoga as Leis Nº 6.535, de 15 de julho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1976.
- \_\_\_\_\_, Lei Nº 7.735 de 22 de fevereiro de 1989 – Dispõe sobre a extinção de órgão e de entidade autárquica, cria o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis e dá outras providências.
- \_\_\_\_\_, Lei Nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 – Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos.
- BISWAS, A. K. (1983) Major Water. *Problems facing the world. Water Resources Development*. V. 1, p. 1–14.
- BURROUGH, P. A. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assesment*. Oxford: Oxford University, 1998, 333 p.
- CÂMARA, G., MEDEIROS, J. S. *Princípios Básicos em Geoprocessamento*. In: ASSAD, E. D. e SANO, E. E. Sistemas de informações geográficas: Aplicações na Agricultura. Brasília: EMBRAPA-SPI/EMBRAPA-CPAC, 1998, p. 3-11.

- \_\_\_\_\_, *Tendências de Evolução do Geoprocessamento*. In: ASSAD, E. D. e SANO, E. E. *Sistemas de Informações Geográficas – Aplicações na Agricultura*. Brasília: EMBRAPA–SPI/EMBRAPA–CPAC, 1998, p. 411-423.
- COWEN, D. J. *GIS versus CAD versus DBMS: What are the differences? Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. V. 4, n 11, 1988, p. 1551-1555.
- COIMBRA, J. A. *O Outro lado do meio ambiente*. CETESB/ASCETESB, 1985.
- CHORLEY, R. J., HAGGET, P. *Modelos Integrados em Geografia*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1974, 222 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 2ª ed., 1980, 188 p.
- \_\_\_\_\_; *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo: Edgard Blücher, 2ª ed., 1999, 236 p.
- CROSTA, A. P. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. São Paulo: UNICAMP, 1992, 170 p.
- CUNHA, S. B. *Canais Fluviais e a Questão Ambiental*. In: CUNHA, S. B. e GUERRA, A. J. T. *A Questão Ambiental Diferentes Abordagens*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003, p. 219-238.
- CUNHA, L. H., COELHO, M. C. N. *Política e Gestão Ambiental*. In: CUNHA, S. B. e GUERRA, A. J. T. *A Questão Ambiental Diferentes Abordagens*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003, p. 43-79.
- DAVIS, W. M. *Geographical Essays*, New York, EUA: Dover Publications, 2ª Ed., 1954, 777 p.
- DSG, Folha SH. 22-V-D-VI-4 MI-2970/4 (São Leopoldo)
- \_\_\_\_\_, Folha SH.22-X-C-IV-3 MI-2971/3 (Gravataí)
- ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. *Understanding GIS: The ARC/INFO Method. Redlands*, C. A.: Environmental Systems Research Institute, 1991.
- FEITOSA, F. F., MONTEIRO, A. M. V., CÂMARA, G. *Compatibilização de dados censitários para análises temporais com o auxílio de imagens LANDSAT, 2005*. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, p. 2657-2664.
- FLORENZANO, T. G. *Imagens de satélite para estudos ambientais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2002, 97 p.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – FEEMA *Vocabulário de meio ambiente: Conceitos básicos do meio ambiente*. Rio de Janeiro: FEEMA, 1990.

- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO E REGIONAL - METROPLAN. Caracterização da sub-bacia do arroio Sapucaia. Porto Alegre: METROPLAN, 2001, 130 p.
- \_\_\_\_\_, Programa Técnico para o Gerenciamento da Região Metropolitana de Porto Alegre – PROTEGER. Porto Alegre: METROPLAN e CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1994, 125 p.
- IBGE, Metodologia do Censo Demográfico 2000. Rio de Janeiro: IBGE, 2003, 568 p.
- \_\_\_\_\_, Base de Informações por Setor Censitário – Resultados do Universo, municípios de Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul, Censo Demográfico 2000.
- \_\_\_\_\_, Projeto RADAMBRASIL - Levantamento de Recursos Naturais – Vol. 33, Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. America Bulletin (1945), 56 (3), p. 275–370.
- KIRCHHOFF, D. Avaliação de risco ambiental e o processo de licenciamento: o caso do gasoduto de distribuição gás brasileiro trecho São Carlos – Porto Ferreira, dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, 2004.
- KOURISLKY, P.; VINEY, G. Le Principe de Précaution: rapport au Premier Ministre (15 october 1999). Paris: Odite Jacob: La Documentation Française, 2000.
- LEITE, J. R. M. Dano Ambiental: do industrial ao coletivo extrapatrimonial. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2000.
- LISBOA FILHO, Jugurta. Modelos conceituais de dados para sistemas de informações geográficas. Porto Alegre: CPGCC/UFRGS, 1997. 122 p.
- LOMBORG, B. O Ambientalista cético: revelando a real situação do mundo. Rio de Janeiro: Campus, 2002, 576 p.
- MACEDO, R. K. A Importância da avaliação ambiental. In TAUK, S.M. et al. (Org). Análise ambiental: uma visão multidisciplinar. São Paulo: Editora da UNESP, 2ª ed., 1995, 206 p.
- MEDEIROS, C. B. , PIRES, F. Bancos de Dados e Sistemas de Informações Geográficas. In: ASSAD, E. D. e SANO, E. E. Sistemas de Informações Geográficas – Aplicações na Agricultura. Brasília: EMBRAPA–SPI/EMBRAPA–CPAC, 1998, p. 31-43.
- MENDES, C. A. B., CIRILO, J. A. Geoprocessamento em recursos hídricos: Princípios, Integração e Aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.
- MILARÉ, E. Processo Coletivo Ambiental, 1993. In: BENJAMIN, A. H. V. Dano Ambiental: Prevenção, Reparação e Repressão. São Paulo: Revista dos Tribunais, p. 257-277.

- MINC, C. *Os Desafios da Ecopolítica no Brasil*. In: PÁDUA, J. A. Ecologia e Política no Brasil. Rio de Janeiro: IUPERJ, 1987.
- MOREIRA, M. A. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. Viçosa: UFV, 2003, 307 p.
- NOVO, E. M. L. M. *Sensoriamento remoto princípios e aplicações*. São Paulo: Edgard Blücher, 2ª ed., 1992, 308 p.
- ONO, S., BARROS, M. T. L., CONRADO, G. N. *A utilização de SIG no planejamento e gestão de bacias urbanas*, 2005.
- ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). *Hay suficiente agua em el mundo*, s.d., 1997.
- PIELOU, E. C. *Freshwater*. Chicago: The University of Chicago Press, 1998, 275 p.
- RAMIREZ, M. R. *Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados para Geoprocessamento*, dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1994.
- REIGOTA, M. *Meio Ambiente e Representação Social*. 2ª Ed. São Paulo: CORTEZ, 1997.
- ROSS, J. L. S. *Geomorfologia ambiente e planejamento*. São Paulo: Contexto, 2003, 85 p.
- SCHEIDEGGER, A. E. *The algebra of stream order numbers*. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper (1965), (525-B), p. p. 187–189.
- SHREVE, R. L. *Statistical law of stream numbers*. Journal of Geology (1966), 74 (1), p. p. 17–37.
- SALOMÃO, F. X. T. *Erosão e Ocupação Rural e Urbana*. 3º Curso de Geologia de Engenharia Aplicada a Problemas Ambientais. São Paulo: IPT, 1992.
- SILVA, A. M., SCHULZ, H. E., CAMARGO, P. B. *Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas*. São Carlos: RIMA, 2003, 140 p.
- SILVEIRA, A. L. L. *Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica*. In TUCCI, C. E. M., Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/ABRH, 1997.
- SOARES, D. M. *Geoprocessamento como ferramenta de análise do risco ao carreamento de sólidos para o rio Paraibuna em Juiz de Fora – MG*, 2005. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, p. 2375-2382.
- STRAHLER, A. N. *Modern Physical Geography*. Barcelona: Omega, 3ª Ed. espanhol, 1994, 550 p.
- STRECK, C. D. A., IGLESIAS, C. M. F., MIGLIAVACCA, D. M., ZOCHE, J. J., HASENACK, H. *Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais da Bacia do Arroio Candiota – RS Utilizando Sistemas de Informação Geográfica*, 2001.

- SWAIN, P. H.; DAVIS, S. N. *Remote Sensing: The Quantitative Approach*. New York: McGraw – Hill, 1978, 457 p.
- TOUFFET, J. *Dictionnaire Essentiel d'écologie*, 1982.
- TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: Editora da Universidade/ABRH, 2ª Ed., 2000, 943 p.
- TUNDISI, J. G. *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. São Carlos: RIMA, 2ª ed., 2003, 248p.
- VALENTE, A. L. S. *Uma Metodologia para Determinação de Áreas de Risco, Através de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto*, 1996. Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, p. 417-420.
- VALLE, C. E. *Qualidade Ambiental: O desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente*. São Paulo: Pioneira, 1995, 105 p.
- VILLERS, M. *Água*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002.
- VIOLA, E. *O Movimento Ecológico no Brasil*. In: PÁDUA, J. A. Ecologia e Política no Brasil. Rio de Janeiro, IUPERJ, 1987.
- WEBER, E., DUARTE, G. F., FRANK, M., HOFF, R., ZOMER, S., BASSANI, E., JUNQUEIRA, I. *Estruturação de Sistemas de Informação Ambiental em Bacias Hidrográficas: o Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Cai – RS*, 1998.
- WORBOYS, M. F. *GIS: A Computing Perspective*. London: Taylor and Francis, 1995.
- WORLD BANK, World Development Report, 1978.

## MEIO ELETRÔNICO

- COMITESINOS, Comitê de gerenciamento da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, disponível em <[www.comitesinos.com.br](http://www.comitesinos.com.br)> , acesso em: 22 abr. 2005.
- ENGESAT – Soluções em Imagens de Satélites, disponível em <[www.engesat.com.br](http://www.engesat.com.br)>, acesso em: 27 jul. 2005.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, disponível em <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>, acesso em: 10 jun. 2005.
- PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, disponível em <[www.pnud.org.br](http://www.pnud.org.br)>, acesso em: 13 mai. 2005.
- PNUMA, UNEP – United Nations Environment Programme, disponível em <[www.unep.org](http://www.unep.org)>, acesso em: 20 abr. 2005.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, Programa de Modernização do Setor Saneamento – PMSS, Ministério das Cidades, disponível em <[www.snis.gov.br](http://www.snis.gov.br)>, acesso em: 10 ago. 2005.

Society for Risk Analysis – SRA, disponível em <[www.sra.org](http://www.sra.org)>, acesso em 10 mai 2005.