

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA CENTRO DE
CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS MESTRADO
EM GEOGRAFIA**

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DE ATIVIDADES
ANTRÓPICAS POR MEIO DA ANÁLISE
INTEGRADA DE VARIÁVEIS DE USO DA TERRA
E LIMNOLÓGICAS EM ITAQUI, RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Cassiane Jraj de Melo Victoria Bariani

**Santa Maria, RS, Brasil
2012**

**Avaliação dos efeitos de atividades antrópicas por meio da
análise integrada de variáveis de uso da terra e limnológicas
em Itaqui, RS**

por

Cassiane Jayj de Melo Victoria Bariani

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Geografia e Geociências – Mestrado em Geografia, da Universidade
Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para a obtenção do
grau de **Mestre em Geografia**

Orientador: Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho

**Santa Maria, RS, Brasil
2012**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA CENTRO DE
CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS MESTRADO
EM GEOGRAFIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**Avaliação dos efeitos de atividades antrópicas por meio da análise
integrada de variáveis de uso da terra e limnológicas em Itaqui, RS**

elaborada por
Cassiane Jayj de Melo Victoria Bariani

**como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geografia**

Comissão Examinadora:

Waterloo Pereira Filho, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Rafael Cabral Cruz, Dr. (UNIPAMPA)

Roberto Cassol, Dr. (UFSM)

**Santa Maria, 11 de julho de
2012**

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho as
minhas filhas Lilian, Beatriz e
Sofia por me fazer consciente
e responsável pelo ambiente
em que vivemos.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a **Deus**, por ter me direcionado a trilhar estes caminhos, colocando em minha vida exemplos de luta e força para vencer as dificuldades por meio do estudo. Desde o início da minha vida tive a referência do meu pai, **Santoaires**, sempre entusiasta, estudando, aprendendo e passando o conhecimento por meio do diálogo de suas experiências, o que fez despertar em mim o gosto pelo estudo. Posteriormente o exemplo veio se reforçar através do meu marido, **Nelson**, coorientador deste trabalho, que além do conhecimento veio agregar o desejo de direcionar os estudos para o bem comum, sempre com idéias criativas e inovadoras.

Quero agradecer ainda a quatro mulheres que me apoiaram e com muito carinho cuidaram da Lilian e da Beatriz enquanto eu estudava ou viajava para congressos, minha mãe **Tina**, minha madrastra **Jaluza**, minha tia **Lizete** e minha fiel secretária **Nádia**.

Também devo agradecer a todos os colegas que me acompanharam nas amostragens, análises de laboratório e processamento de imagens: **Paulo, Alex, Dalvana, Jéssica Correa, Maycon, Micaelle, Mauriéli, Miriane, Diego Figueiró, Diego Garcia, Jéssica Cruz, Stefani, Dieison, Vinícius e Danrlei**, com os quais dividi experiências e longas jornadas, em campo, com sol, barro, com roupas molhadas e alguns tombos, em laboratório com análises que pareciam intermináveis e enfrente ao computador virando a noite registrando e processando imagens. Aos colegas **Clayton e Diogo** pela excepcional ajuda nas correções das referências bibliográficas. Também quero agradecer aos técnicos em laboratório pelo apoio e dedicação aos trabalhos, **Roberto Dutra e Fabiane Moro**, que sempre dispostos, auxiliaram e executaram análises físicoquímicas e microbiológicas da água. Agradeço aos motoristas **Álvaro e Gilson** pelas informações passadas por meio de seus conhecimentos empíricos da região. Faço um agradecimento especial ao meu orientado o professor **Waterloo Pereira Filho** pela paciência, compreensão e auxílio neste trabalho. Agradeço ainda a **UFSM** por ter me possibilitado a oportunidade de ter cursado uma pós-graduação gratuita e de qualidade; e a **UNIPAMPA** pela infraestrutura disponibilizada, laboratórios, reagentes, equipamentos, carro, recursos humanos, etc. Também agradeço ao **LABii** (Laboratório Interdisciplinar Integrado) e ao grupo de pesquisa do CNPq, **UNIGAIA**, nos quais vivenciei todo o processo de criação e desenvolvimento. Sinto-me muito grata por estar contribuindo com a primeira dissertação desenvolvida totalmente com recursos dos projetos desenvolvidos pelo LABii e Unigaia, e ainda quero agradecer e incentivar todos os alunos que estão atualmente envolvidos na continuidade dessa pesquisa interdisciplinar: **Carlos, Raíssa, Edina, Priscila, Giovane, Lucas, Luan Barros, Luan Fioravante, Cicera, Nathalia, Graziela, Márcia, Fábio, Bethania**, além dos que já foram citados anteriormente. Por fim agradeço ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (**CNPq**) pelo apoio financeiro por meio da bolsa de Desenvolvimento Tecnológico Industrial do Edital Pesquisador na Empresa; e ao Proext Mec 2012 pelo auxílio por meio dos projetos **SIMA-FO** (Sistema Integrado de Monitoramento Ambiental da Fronteira Oeste do RS) e **MAPA** (Meio Ambiente: Parceiros em Ação).

EPÍGRAFE

*"Não posso fechar os olhos,
para as flores que hão de brotar.
Ainda que tímidas, frágeis,
esquálidas...
Ainda que tenham que romper o
concreto armado, desumano no
coração inumano.
Elas brotarão e se tornarão o que
devem ser"*

Maria de Lourdes Scottini Heiden

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências
Universidade Federal de Santa Maria

AValiação dos Efeitos de Atividades Antrópicas por Meio da Análise Integrada de Variáveis de Uso da Terra e Limnológicas em Itaqui, RS

AUTORA: CASSIANE JRAYJ DE MELO VICTORIA BARIANI

ORIENTADOR: WATERLOO PEREIRA FILHO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 11 de julho de 2012

A presente pesquisa teve por objetivo analisar as relações entre variáveis de uso e ocupação do solo e limnológicas em microbacias urbanas e rurais em parte do município de Itaqui procurando causas de degradação ambiental. Para isso, trabalhou-se na construção de uma base de dados indexada a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), com o uso de imagens de satélites e dados limnológicos coletados a campo durante os meses de setembro a novembro de 2011. A área de estudo foi dividida em 12 microbacias nas quais foram pesquisadas as classes de uso do solo mediante processamento das imagens dos satélites Landsat 5 e CBERS 2B, produzindo cartas imagem e mapas temáticos da região. Os dados limnológicos foram integrados ao SIG na forma de banco de dados geo-relacional, associando as estações de amostragem com tabelas de resultados. As metodologias utilizadas para inferência estatística se basearam no uso dos coeficientes de correlação de Pearson e de Spearman entre as variáveis limnológicas e as áreas de uso do solo. As análises de laboratório e procedimentos de amostragem seguiram as recomendações do *Standard Methods*. Os resultados evidenciaram efeitos de contaminação provenientes das áreas urbanas e de campo que apresentaram correlações positivas com as variáveis mesófilos, coliformes totais e cloretos, enquanto correlações negativas aconteceram entre essas variáveis e áreas de vegetação, mata e lavouras. Esses fatos apontam para os efluentes da cidade e a contaminação originária da pecuária extensiva como principais fontes de contaminação das águas.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica, Sensoriamento Remoto, Spring, Qualidade da Água, Bacia Hidrográfica.

ABSTRACT

Master Thesis
Post-Graduation Program in Geography and Geosciences
Federal University of Santa Maria

EVALUATION OF THE EFFECTS OF ACTIVITIES ANTHROPOGENIC THROUGH INTEGRATED ANALYSIS OF MAIN LAND USE AND IN LIMNOLOGICAL ITAQUI, RS

AUTHOR: CASSIANE JRAYJ DE MELO VICTORIA BARIANI

ADVISER: WATERLOOPEREIRA FILHO

Date and Place of Defense: Santa Maria, July 11, 2012.

This research aims to analyze the relationships between land use and limnological variables in urban and rural watersheds around the city of Itaqui, Rio Grande do Sul, Brazil, looking for the causes of water contamination. For this goal, it was built a database associated with a Geographic Information System (GIS) using satellite images and limnological data collected in the field from September to November of 2011. The study area was divided into 12 watersheds corresponding to the water collection points, using radar images from the SRTM mission and Spring 5.1.5 software. Subsequently, classes of land use were investigated by Landsat 5 and CBERS 2B images processing, and maps were produced. Limnological data was integrated as a geo-relational data bank, connecting the sample points with results data sheets. The statistical inference methods used were based in Pearson and Spearman correlations among the land use and limnological variables. The laboratory analysis and sampling procedures followed the recommendations of the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. The results showed effects of pollution coming from urban areas and cattle fields, that showed significant positive correlations with mesophiles, total coliforms, chloride, sodium and electrical conductivity values. On the other hand, negative correlations occurred between limnological variables and areas of vegetation, forest and crops. This facts point to the city sewage and the livestock farming as the main sources of water contamination.

Key-words: Geographic Information System, Remote Sensing, Spring, Water Quality, Watershed.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Limites de classes de declividade para avaliação de terras.	18
Tabela 3.1 Esquema de acumulação de áreas para cada microbacia devido à drenagem	41
Tabela 4.1 Estações de monitoramento disponíveis.....	51
Tabela 4.2 Comparativos das classes analisadas entre 1990 a 2010.	60
Tabela 4.3 Resultados de consultas ao Banco de Dados Relacional do Spring. Em vermelho os valores que superaram o limite permitido pela legislação, e cujas microbacias foram selecionadas na consulta.	65
Tabela 4.4 Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis limnológicas	69
Tabela 4.5 Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis limnológicas e de uso do solo	74

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 Mapa de Localização da área de estudo - (a) America do Sul, Brasil; (b) Rio Grande do Sul; (c) Município de Itaqui; (d) Área de Estudo.	5
Figura 2.1 Representação de consulta no sistema gerenciador de banco de dados relacional.	11
Figura 3.1 Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa.....	33
Figura 3.2 Mapa das microbacias hidrográficas dos pontos amostrais	34
Figura 3.3 Foto do ponto Foz do Olaria - Microbacia 01	35
Figura 3.4 Foto do ponto Hipódromo - Microbacia 02	35
Figura 3.5 Foto do ponto Camil - Microbacia 03	35
Figura 3.6 Foto do ponto Ciclovia- Microbacia 04	35
Figura 3.7 Foto do ponto Acesso Sul - Microbacia 05.....	36
Figura 3.8 Foto ponto Desembocadura Cambaí - Microbacia 06.....	36
Figura 3.9 Foto do ponto Ponte Cambaí - Microbacia 07	36
Figura 3.10 Foto do ponto Bomba Arroz - Microbacia 08.....	36
Figura 3.11 Foto do ponto Desembocadura Canal Antigo- Microbacia 09.....	37
Figura 3.12 Foto do ponto Ponte Pitangueira - Microbacia 10	37
Figura 3.13 Foto do ponto Ponte Br (Microbacia 11)	37
Figura 3.14 Foto do ponto Nascente (Microbacia 12).....	37
Figura 3.15 Foto coletas de amostra em ponto navegável e não navegável.....	38
Figura 3.16 Aparelhos digitais portáteis levados a campo. A- Oxímetro, modelo MO-900; B- Condutivímetro, modelo Instrutherm CDR870; e C- Phmetro, modelo Q400HM.....	39
Figura 3.17 Imagem do satélite Landsat 5 das bandas 5,4,3 na composição RGB, antes e após o processamento por meio de análise de componentes principais, nas microbacias sob estudo.	45
Figura 4.1 Mapa de caracterização da área de estudo.	49
Figura 4.2. Mapa de classificação dos solos da área de estudo.....	50
Figura 4.3 Relação entre Cota e Vazão do Rio Uruguai no posto 75900000, Porto de Itaqui.....	51
Figura 4.4 Gráfico das cotas registradas para os meses de setembro, outubro e novembro do ano de 2011.....	52
Figura 4.5 Gráfico de precipitação registradas para os meses de setembro, outubro e novembro do ano de 2011.	53
Figura 4.6 Mapa de hipsometria.	56
Figura 4.7 Mapa declividade	57
Figura 4.8 Mapa de hierarquia fluvial.	59
Figura 4.9 Uso do solo nos anos de 1991 e 2011.	63
Figura 4.10 Consulta ao banco de dados geo-relacional - mapa de classificação do uso do solo em 2011.....	66
Figura 4.11 Consulta a atributos - Condutividade Elétrica acima de 200uS.....	67
Figura 4.12 Resultado da consulta ao banco de dados geo-relacional - Pontos Hídricos que obtiveram Condutividade Elétrica acima de 200uS.....	68
Figura 4.13 Mapa de uso e ocupação do solo obtido por meio da imagem do satélite CBERS 2B.....	72
Figura 4.14 Gráfico do percentual de uso e ocupação do solo em microbacias.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS

APP - Área de Preservação Permanente

CE - Condutividade Elétrica

C.T - Coliformes Totais

Cl⁻ - Cloretos

DQO - Demanda Química de Oxigênio

FNP - Fontes Não Pontuais

K⁺ - Potássio

ME - Mesófilos

Na⁺ - Sódio

OD - Oxigênio Dissolvido

pH - Potencial de Hidrogênio

RS - Rio Grande do Sul

SR - Sensoriamento Remoto

TM - Thematic Mapper

μS - Micro Siemens

LISTA DE SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas
CBH - Comitê de Bacia Hidrográfica
CONDEMA - Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
DPI - Departamento de Processamento de Imagens
FEPAGRO - Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária
FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LABii - Laboratório Interdisciplinar Integrado
LEGAL - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
OSF - Operations Support Facility
RISC - Reduced Instruction Set Computer ou Computador com um Conjunto Reduzido de Instruções
SGBDR - Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional
SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática
SIG - Sistema de Informação Geográfica
UNIGAIA – Grupo de Ações Interdisciplinares Aplicadas da Unipampa
UNIPAMPA - Universidade Federal do Pampa
SNGRH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	1
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos	4
1.2 Área de estudo	4
CAPÍTULO II.....	7
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1 Sistema de informação geográfica SIG.....	8
2.1.1 Spring	10
2.1.1.1 Modo relacional do Spring	11
2.2 Aplicações do sensoriamento remoto	12
2.3 Geomorfometria.....	13
2.3.1 Modelos digitais de elevaçãoMDT, MNT, MDE.....	13
2.3.2 Shuttle radar topography mission SRTM.....	14
2.3.2.1 Relevo.....	16
2.3.2.1.1 Hipsometria.....	16
2.3.2.1.2 Declividade	17
2.3.2.1.3 Rede de drenagem.....	18
2.4 Água como indicador ambiental	20
2.4.1 Cotas do rio Uruguai	20
2.4.2 Precipitação pluviométrica	21
2.4.3 Análises físicoquímicas da água.....	22
2.4.3.1 Potencial de hidrogênio pH	22
2.4.3.2 Oxigênio dissolvido OD.....	24
2.4.3.3 Condutividade elétrica CE.....	25
2.4.3.4 Sódio Na ⁺	26
2.4.3.5 Potássio K ⁺	27

2.4.3.6	Cloretos Cl ⁻	28
2.4.4	Análises microbiológicas da água	28
2.4.4.1	Mesófilos	29
2.4.4.2	Coliformes Totais	29
2.4.5	Análise estatística	30
CAPÍTULO III		32
3	METODOLOGIA	32
3.1.1	Reconhecimento dos pontos amostrais.....	32
3.1.2	Coletas	38
3.2	Cotas	38
3.3	Pluviometria.....	38
3.4	Variáveis limnológicas	39
3.4.1	Medidas das variáveis físicoquímicas	39
3.4.2	Medidas das variáveis microbiológicas.....	39
3.4.3	Medidas estatísticas	40
3.5	Processamento	41
3.5.1	Criação do banco de dados.....	42
3.5.2	Elaboração de mapas	42
3.5.2.1	SRTM.....	43
3.5.2.2	Uso do solo	43
CAPÍTULO IV.....		46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	Caracterização da área de estudo	47
4.1.1	Efeito das cotas do rio Uruguai	51
4.1.2	Medidas pluviométricas	53
4.1.3	Relevo.....	53
4.1.3.1	Hipsometria e Declividade.....	54

4.1.3.2	Rede de Drenagem	58
4.2	Uso do solo	60
4.3	Resultados da integração de dados limnológicos e Sistema de Informação Geográfica (SIG)	64
4.3.1	Banco de dados relacional	64
4.3.2	Correlação entre variáveis limnológicas	69
4.4	Resultados da integração de dados limnológicos e Sensoriamento Remoto ...	71
CAPÍTULO VI.....		77
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
ANEXOS		91
Anexo 1 - Metodologia para obtenção de potencial de hidrogênio pH.....		92
Anexo 2- Metodologia Oxigênio dissolvido por oxímetro.....		93
Anexo 3 - Metodologia para obtenção da condutividade elétrica		94
Anexo 4 - Metodologia para obtenção de cloretos		95
Anexo 5 - Metodologia de contagem de heterótrofos em placas		96

1 INTRODUÇÃO

A capacidade de gestão da nossa sociedade tem sido insuficiente, até o momento, para administrar o crescimento das cidades, a expansão da agropecuária e as atividades industriais de uma maneira sustentável. Essa situação fica evidente principalmente nos ecossistemas aquáticos de água doce, como lagos, arroios e rios, cujas águas são desviadas intensivamente para atividades antrópicas e cujos corpos recebem efluentes domésticos, rurais e industriais sem tratamento, além de sofrer alteração nas estruturas de matas e encostas e outros filtros naturais (CARVALHO et al., 2000).

Em contraposição, pode ser observado o efeito da valorização da informação geográfica, decorrente da ampliação, em nível global, de uma mentalidade mais responsável com o meio ambiente e das demandas sociais e econômicas por uma melhor compreensão da realidade territorial, na medida em que subsidia a implementação de políticas de gestão e desenvolvimento sustentável (CINDE, 2010). Essas características contribuem para aumentar o interesse no desenvolvimento de pesquisas como a presente, que integrem dados ambientais coletados *in situ* dados proveniente de sensoriamento remoto em um sistema de informação geográfica.

Este trabalho teve como foco o entorno da cidade de Itaqui, RS, onde confluem processos ambientais intensos e conflitantes oriundos da presença do rio Uruguai e afluentes, das atividades de pesca e lazer, esgotos e resíduos sólidos da população urbana, da população rural associada à pecuária extensiva, das atividades agrícolas e agroindustriais relacionadas à cultura do arroz, da criação intensiva de suínos e outras atividades antrópicas (BARIANI, N. et al., 2011).

Nesta pesquisa, a correlação entre a análise de variáveis limnológicas e o uso e ocupação do solo é o elemento chave que quantifica com significância estatística as interações existentes nas microbacias¹ em torno da área urbana do município de

¹ A microbacia é a unidade básica de planejamento para compatibilização da preservação dos recursos naturais e da produção agropecuária. As microbacias hidrográficas possuem características ecológicas, geomorfológicas e sociais integradoras, o que possibilita a abordagem holística e participativa, envolvendo estudos interdisciplinares para o estabelecimento de formas de desenvolvimento sustentável inerentes ao local e região onde forem implementados (ATTANASIO, 2004).

Itaqui. As microbacias hidrográficas são adotadas como unidade ideal de planejamento e intervenção, devido ao papel integrador das águas, nos aspectos físico, bioquímico e socioeconômico (LANNA, 2001).

A avaliação do uso e ocupação do solo da região sob estudo se deu por meio de imagens dos satélites Landsat-5 e CBERS 2B de uso livre (disponíveis no site www.dgi.inpe.br), processadas por técnicas de geoprocessamento usando o aplicativo Spring (CÂMARA, 1996).

O software utilizado, Spring (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que permite processar e georreferenciar imagens e outras informações como base para diferenciação e caracterização do ambiente da região sob estudo. Isto permite, por exemplo, identificar e separar espectralmente as áreas de plantio, campos nativos e pastagens, matas ciliares e corpos de água. O reconhecimento a campo, utilizando equipamentos GPS e registros fotográficos, permite uma melhor identificação e precisão das características de uso e ocupação dos solos nas microbacias da região sob estudo.

Alguns produtos cartográficos produzidos neste trabalho foram obtidos por meio de Modelos Digitais de Elevação (MDE) que se utilizam de dados da missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), corrigidos e disponibilizados para o Brasil pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA, 2011). Mapas de declividade, hipsometria do terreno e rede de drenagem foram utilizados para reconhecimento das características físicas da área de estudo, além de auxiliarem na delimitação das microbacias.

As motivações para o desenvolvimento deste trabalho ficam evidentes através da análise de declarações contidas no documento final da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento - A Agenda 21, em sua Seção IV, Capítulo 40, intitulada "Informação para a Tomada de Decisão", que enfatizou a necessidade de se incrementarem as atividades de aquisição, avaliação e análise de dados utilizando novas tecnologias tais como: Sistema de Informações Geográficas (SIG), Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Posicionamento Global (GPS) (MARUYAMA e AKIYAMA, 2003; CINDE, 2010), além do mencionado por Magalhães Jr. (2011), "Novas abordagens integradas são fundamentais, se desejarmos caminhar rumo a um gerenciamento integrado dos recursos hídricos".

Cabe observar que, embora exista vontade política, social e empresarial de avançar positivamente para uma relação sustentável com o meio ambiente, a falta de

informações confiáveis leva a impasses no desenvolvimento de ações efetivas, sendo que nenhum dos envolvidos: comunidade, empresas, governo, concordam em assumir suas parcelas de ônus ambiental. Este trabalho, portanto, vem contribuir com informações e metodologias que podem colaborar positivamente para a discussão e reflexão da situação atual do gerenciamento e avaliação dos recursos hídricos.

Nesta pesquisa, o interesse está centrado na avaliação dos efeitos antrópicos (atividades urbanas, industriais e agrícolas) sobre as características da água, tomando como referência aspectos de uso do solo. Muitas informações do ambiente estão contidas na água e são acessíveis através de parâmetros bióticos e abióticos que podem ser medidos. Existe, porém, um “ruído”, uma incerteza associada a essas informações devido aos procedimentos de amostragem de campo e análises laboratoriais realizadas, que configuram, em conjunto, um sistema de bastante complexidade. Conforme Stair e Reynolds (2002), para ser valiosa, a informação deve conter as seguintes características: ser precisa, completa, econômica, flexível, confiável, relevante, simples, pontual, verificável, acessível e segura. Se a informação não for precisa ou completa, decisões ruins podem ser tomadas, e conseqüentemente, custar muito caro para quem dependa dela. Também se a informação não for pertinente à situação, se chegar aos tomadores de decisão no momento inadequado ou com muita complexidade para seu entendimento, ela poderá se tornar de pouco valor. Neste trabalho, as informações são preparadas pensando em usuários de âmbito universitário (pesquisa, ensino, extensão) ou municipal (monitoramento, previsão, gestão).

Um aspecto importante do trabalho é a integração dos dados provenientes de sensoriamento remoto e as informações dos indicadores ambientais medidos a campo ou em laboratório, o que foi realizado por meio do SGBDR (Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional) – do Spring. Neste modelo "geo-relacional", os componentes espacial e descritivo do objeto geográfico são armazenados separadamente. Os atributos como nome do ponto de coleta, pH, concentração de sódio, e outros, são guardados no banco de dados (na forma de tabelas), associados a objetos espaciais (pontos de amostragem na tela) e tratados por um sistema que faz a conexão através de identificadores de objetos. Para recuperar resultados no caso de uma consulta para tomada de decisão sobre a qualidade do ambiente, os dois subsistemas devem ser pesquisados pelo programa, e a resposta é uma composição de resultados (LOPES, 2009).

1.1 Objetivos

Portanto, a presente Dissertação de Mestrado objetiva analisar as relações entre variáveis de uso e ocupação do solo e limnológicas com a finalidade de identificar os efeitos das atividades antrópicas no ambiente relacionado a cidade de Itaqui, RS e seu entorno.

No que tange aos objetivos específicos têm-se: a) Avaliar as características de uso e ocupação do solo por meio de informações provenientes de sensores remotos; b) Analisar as correlações entre as variáveis limnológicas; c) Correlacionar o uso e ocupação do solo com parâmetros limnológicos.

1.2 Área de estudo

A área urbana do município de Itaqui é banhada a leste pelo Arroio Cambaí e Arroio Chocolate e a oeste pelo Arroio Olaria. As microbacias correspondentes a esses cursos de água são o foco desta pesquisa.

Território pertencente primeiramente às Missões Ocidentais (IBGE, 2012), o município de Itaqui possui 38.151 habitantes segundo o IBGE (2010). A região é influenciada pelas características da bacia do Uruguai e da forte presença orizícola, assim como da pecuária e da criação de suínos em granjas tecnificadas.

Desempenha papel notório (âmbito econômico estadual e nacional) na produção de arroz, bovinos com as raças Hereford e Braford e na criação de suínos para abate (IBGE, 2012). Estas atividades influenciam a qualidade ambiental da região, pois estão diretamente relacionado com o uso e ocupação do solo bem como ao elevado consumo de água.

Localizada na Fronteira Oeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil entre 29°17'37.9" e 29°01'23.98" de latitude sul e entre 56°38'44.56" e 56°38'44.56" de longitude oeste, a área de estudo corresponde a 168 Km² (Figura 1.1).

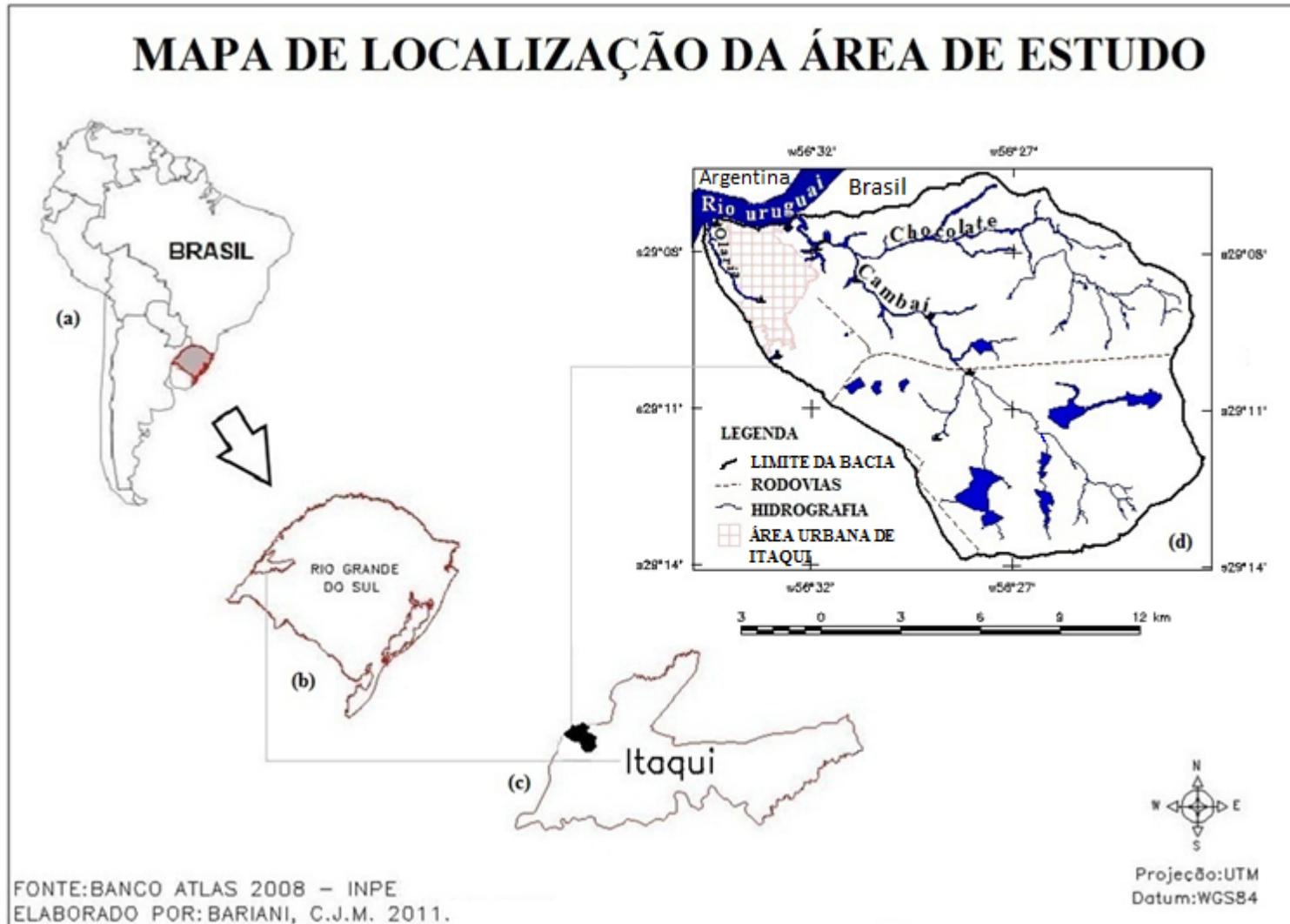


Figura 1.1 Mapa de Localização da área de estudo - (a) America do Sul, Brasil; (b) Rio Grande do Sul; (c) Município de Itaqui; (d) Área de Estudo.

A região sob estudo apresenta a cultura do arroz como a principal característica de uso do solo para produção agropecuária atualmente. Portanto uma avaliação dos efeitos antrópicos por meio de sensoriamento remoto e da qualidade da água em pontos hídricos vem contribuir para se obter um entendimento da situação atual do meio ambiente, além de auxiliar à tomada de decisão a nível municipal, visto que as ocorrências e fragilidades dos ecossistemas se encontram de maneira concentrada nessas microbacias que apresentam características urbanas e rurais.

A cultura do arroz, além de consumir grandes quantidades de água – as quais devem apresentar padrões de qualidade condizentes à irrigação – pode causar impactos ambientais negativos (CONAMA, 1986) devido aos resíduos gerados pelo beneficiamento do arroz (principalmente o pó e a casca de arroz), se estes não forem tratados adequadamente (WALTER e ROSSATO, 2010), bem como em decorrência do uso de agroquímicos.

As cidades também podem ser consideradas agentes potencialmente poluidoras, pois pressionam os recursos hídricos (captação maior do que a capacidade dos mananciais, combinada com poluição industrial e domiciliar) e os solos (contaminação por meio de poluentes carregados pelas chuvas e devido à disposição inadequada do lixo) (HOGAN et al., 2001). A urbanização sem uma infraestrutura ambiental e a criação intensiva e extensiva de animais podem ocasionar danos ambientais por meio de dejetos domésticos e rurais que podem contaminar os cursos hídricos. Micklin (1999) coloca que a qualidade da água dos cursos hídricos e a degradação dos ambientes urbanos são os maiores desafios encontrado na América Latina em termos de preservação e recuperação ambiental. Para Rockwell (1999), a urbanização esta associada com um maior número de mudanças no uso do solo do que qualquer outra atividade humana.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Há um crescente reconhecimento de que a poluição dos recursos hídricos está associada, principalmente, às atividades agropecuárias, sendo esta alguma das principais causas de degradação da qualidade da água. A transferência de poluentes, a partir do solo para a água, acarreta em prejuízos significativos da qualidade dos corpos hídricos (MONAGHAN et al., 2007). Além disso, as políticas públicas de monitoramento da poluição originária de fontes não pontuais, em inglês *nonpoint sources of pollution*, tanto no Brasil como nos Estados Unidos, são pouco analisadas e discutidas (DOWD et al., 2008).

Estudos de monitoramento de variáveis físicoquímicas e microbiológicas da água associados ao uso e ocupação do solo realizados por Monaghan et al., (2007) na Nova Zelândia em um período de 4 anos, entre 2001 a 2005, demonstrou que a ocupação do solo influencia diretamente na qualidade dos corpos hídricos. Neste estudo foram monitorados 4 pontos em uma microbacia que apresentava 4 classes diferentes de uso do solo (floreτας, pecuária, pastagem e culturas para a produção de forragem). Os resultados desse estudo demonstraram que os pontos hídricos que estavam circundados pela ocupação de animais (gado leiteiro) obtiveram concentrações elevadas de condutividade elétrica bem como da bactéria *E.coli*. O ponto mais a montante, característico de florestas, apresentou em média condutividade elétrica de 87 μS , enquanto o ponto mais a jusante com características de uso do solo para criação de animais apresentou condutividade elétrica de 235 μS . Segundo a Resolução n° 357 (CONAMA, 2005), a condutividade elétrica acima de 100 μS pode indicar ambientes impactados.

Os resultados desses estudos demonstram a inter-relação entre o ecossistema terrestre e aquático, onde a metodologia de monitoramento da água que leve em consideração a poluição originária de fontes não pontuais e também as características de uso e ocupação do solo seriam algumas das alternativas que possibilitariam aos proprietários rurais e aos gestores municipais, melhorar, adaptar e adequar o sistema de produção agropecuário e/ou o tratamento de efluentes sanitários de seu município. O

trabalho de Dowd et al., (2008), conclui que o monitoramento de fontes não pontuais será bem sucedido quando se implantarem políticas públicas a nível local.

Neste trabalho, a proposta metodológica está centrada no desenvolvimento de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) aliado aos produtos de sensoriamento remoto (SR). Essas ferramentas se mostram eficientes para a administração dos recursos naturais, visualização de pontos afetados pelas atividades antrópicas e auxílio a tomada de decisão de maneira rápida e eficaz. Neste capítulo, pretende-se abordar os conceitos básicos inseridos nas ferramentas informáticas, procedimentos e processamentos utilizados nesta pesquisa. Serão apresentados e discutidos conceitos de SIG e o software Spring com algumas de suas potencialidades; aplicações do SR; características geomorfométricas com a utilização de MNT e da missão SRTM; monitoramento de algumas variáveis ligadas a fenômenos climáticos, como as cotas do rio Uruguai que tem influencia direta em seus tributários e os índices de precipitação na região; características físicoquímicas e microbiológicas da água e aplicação da análise de correlação entre o uso e ocupação do solo e as variáveis limnológicas.

2.1 Sistema de informação geográfica SIG

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel; isto dificulta uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento simultâneo, na segunda metade deste século, da tecnologia de informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional (CÂMARA et al., 2001).

Segundo Konecny (2003), as primeiras tentativas teóricas para um projeto em SIG foi na década de 1960: em 1963 a *Experimental Cartography Unit* no Reino Unido fez uma tentativa de otimizar a cartografia; em 1964, o Laboratório de Harvard para a Computação Gráfica, lançou os fundamentos teóricos para o desenvolvimento de SIG; e em 1968, R.F. Tomlinson criou o *Canada Geographic Information System* para uma agência agrícola (ARDA). Porém foi a partir da década de 80 que a tecnologia de sistemas de informação geográfica iniciou, de forma acelerada, crescimento que dura até os dias de hoje (CÂMARA et al., 2001).

A utilização desta ferramenta é de fundamental importância para o entendimento das dinâmicas ambientais. Atualmente, a dinâmica do uso das terras pelo ser humano, visando produção de alimentos e desenvolvimento econômico, tem impulsionado uma mudança constante do solo e água, modificando suas características químicas e físicas, o que ocasiona uma série de interações entre os ambientes. Monitorar, planejar e interpretar essas dinâmicas está sendo exigências dos órgãos governamentais e de pesquisa. O entendimento da dinâmica e monitoramento do uso da terra possibilita uma melhor visualização dos problemas assim como acelera a tomada de decisão. Por esses motivos, a integração de dados ambientais, sociais e econômicos em SIG está sendo cada vez mais desejável, permitindo identificar fenômenos e tendências difíceis de serem visualizadas isoladamente.

Segundo Blaschke e Kux (2007), as rápidas mudanças ambientais não podem mais serem registradas, de modo a satisfazer as demandas crescentes, só por meio de imageamento convencional. Para a tomada de decisão sustentável, ou para o gerenciamento efetivo de conflitos, há necessidade de uma base de dados mais completa que represente uma imagem da situação atual. Portanto, é necessário o desenvolvimento de banco de dados relacionado a objetos relevantes para a gestão e sua disponibilização a órgãos como as prefeituras e secretarias, onde estas possam ser auxiliadas pela facilidade de observação dos pontos fragilizados do sistema. Além disso, os SIGs podem ser sustentados pelas próprias prefeituras, em parceria com universidades, por exemplo, auxiliando assim não só nas tomadas de decisões de forma rápida e eficaz, como também nos processos de educação ambiental.

Segundo Câmara e Medeiros (1998, p.6):

O termo Sistema de Informações Geográficas (SIG) refere-se àqueles sistemas que efetuam tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e numa projeção cartográfica qualquer. Os dados tratados em geoprocessamento têm como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados.

A pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG:

1. como ferramenta para a produção de mapas;
2. como suporte para análise espacial de fenômenos; ou
3. como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação da informação espacial.

Essa pesquisa se utiliza de SIG e sensoriamento remoto em suas três formas descritas por Câmara e Medeiros (1998).

2.1.1 Spring

O produto SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) é um banco de dados geográfico que, segundo Lopes (2009, p.13) possui as seguintes características:

- 1) Opera como um banco de dados geográfico sem fronteiras e suporta grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco;
- 2) Administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (*raster*), e realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto em um SIG;
- 3) Provê um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra).;
- 4) Consegue escalonabilidade completa, ou seja, é capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variam desde microcomputadores a estações de trabalho RISC de alto desempenho.

O SPRING é baseado em um modelo de dados orientado a objetos, do qual são derivadas sua interface de menus e a linguagem espacial LEGAL. Algoritmos inovadores, como os utilizados para indexação espacial, segmentação de imagens e geração de grades triangulares, garantem o desempenho adequado para as mais variadas aplicações. Projetado para a plataforma RISC e interface gráfica padrão OSF Motif, o SPRING apresenta interface altamente interativa e amigável, além de documentação *on-line*, ambas escritas em português, facilitando extremamente sua utilização e suporte (LOPES, 2009).

Baseado nessas características o SPRING tem se mostrado uma opção altamente atrativa na área de geoprocessamento, pois passa a ser considerado um software de domínio público, podendo ser adquirido pela Internet (“<http://www.dpi.inpe.br/spring>”), bastando se cadastrar na própria página do INPE. O SPRING é um produto desenvolvido com tecnologia nacional, feito pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, em São José dos Campos/SP, cidade que se destaca no cenário nacional pelas empresas e institutos ligados a área de tecnologia, principalmente no setor aeroespacial (Ibdem).

2.1.1.1 Modo relacional do Spring

O modo relacional do Spring trabalha de forma integrada com o sistema de informação geográfica. Essa integração se faz por meio de um SGBDR (Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional). O SGBDR também pode ser chamado de modelo "geo-relacional", onde seus componentes espacial e descritivo do objeto geográfico são armazenados separadamente. Os atributos convencionais são guardados no banco de dados (na forma de tabelas) e os dados espaciais são tratados por um sistema dedicado. A conexão é feita por identificadores (id) de objetos (CÂMARA et al., 2001).

Para recuperar um objeto, os dois subsistemas devem ser pesquisados e a resposta é uma composição de resultados. Esta arquitetura é ilustrada na Figura 2.1.

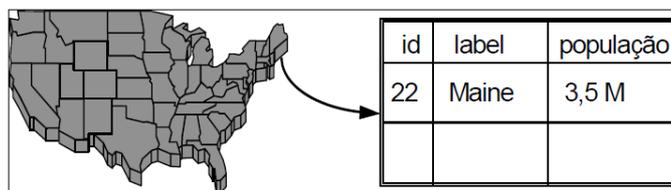


Figura 2.1 Representação de consulta no sistema gerenciador de banco de dados relacional.
Fonte: Lopes - Tutor 10 aulas, aula 9 (2009)

Segundo Medeiros e Pires (1998, p.32), os principais objetivos de um SGBD são:

- tornar disponíveis dados integrados para uma grande variedade de usuários através de interfaces amigáveis;
- garantir a privacidade dos dados através de medidas de segurança dentro do sistema;
- permitir o compartilhamento de dados de forma organizada, atuando como mediador entre as aplicações e o banco de dados, garantindo assim o controle e a redução do nível de redundância e administrando acessos concorrentes; e
- possibilitar a independência dos dados no sentido de poupar ao usuário detalhes físicos e de organização e armazenamento.

Portanto, uma vez estruturado o banco de dados, o modo relacional do Spring pode ser utilizado pelas prefeituras e secretarias, tais como a Secretaria do Meio Ambiente e a Secretaria de Agricultura, para cruzamento de informações. Assim órgãos com estes podem alimentar essa base de dados e se apoiarem em informações localizadas, facilitando o planejamento, a gestão e a tomada de decisão a nível municipal.

2.2 Aplicações do sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto pode ser utilizado para diferentes funções de acordo com os interesses de cada pesquisador. O interessante dessa ferramenta é saber utilizá-la e interpretá-la de acordo com o produto final que se deseja obter. Para tais análises, é necessário o conhecimento das interações da radiação com o ambiente a ser estudado, detectada através de sensores. Portanto, além de entender o comportamento e as funções dos sensores é necessário que se entenda o que ocorre quando a radiação incide sobre o ambiente e posteriormente chega aos sensores; essa interação deve ser analisada e entendida pelo pesquisador (JENSEN, 2011).

São muitas as definições para o termo Sensoriamento Remoto, porém a definição colocada por Jensen (2011, p.4) traduz de forma clara este conceito.

Sensoriamento Remoto (SR) é o registro das informações das regiões do ultravioleta, visível, infravermelho e microondas do espectro eletromagnético, sem contato, por meio de instrumentos tais como câmeras, escâneres, lasers, dispositivos lineares e/ou matriciais localizados em plataformas tais como: aeronaves ou satélites, e análise da informação adquirida por meio visual ou processamento digital de imagem.

Existe um número grande de satélites em órbitas no espaço; cada satélite possui a bordo sensores, que são equipamentos que registram a energia refletida ou a energia emitida pelos objetos na superfície da terra. Segundo Florenzano (2008), essa energia é transformada em sinais elétricos, que são transmitidos para as estações de recepção que integram o segmento solo, na Terra. Os sinais por sua vez, são processados e transformados em imagens. Para captar os dados da superfície terrestre, os sensores a bordo dos satélites ficam apontados sempre para a Terra.

As informações resultantes de sensores remotos podem alcançar alto grau de especificidade, abrangendo propriedades como tipo de vegetação, comprimentos, áreas, declividades e outras. Porém, é a energia eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos a que é utilizada para deduzir ditas propriedades reais. Para isso, é necessário o uso de técnicas de processamento visual ou digital de imagens.

As informações em SR são transmitidas através da radiação eletromagnética que pode ser caracterizada através do Comprimento de Onda (λ), geralmente em nanômetros (nm) ou micrômetros (μ m) ou a frequência (ν), em Hz relacionadas através da expressão: $\nu=c/\lambda$. Os intervalos de comprimentos de onda (ou frequências) detectados por um certo sensor constituem as bandas (MOREIRA, 2011).

Portanto, a primeira informação que o pesquisador deve buscar antes de começar a sua pesquisa em sensoriamento remoto são as características do satélite, o tipo de sensor que irá utilizar; qual a combinação de bandas que irá fazer para conseguir chegar com êxito e alcançar os objetivos esperados.

2.3 Geomorfometria

A geomorfometria refere-se ao estudo do relevo feito sob abordagem numérica, baseada na mensuração de características geométricas da configuração tridimensional da superfície do terreno (VALERIANO e ALBUQUERQUE, 2010). As relações topológicas do escoamento da água podem ser enxergadas através deste tipo de estudo, sendo de fundamental importância para a compreensão da composição físico-química da mesma. Daí a necessidade ou importância da construção de representações digitais do terreno para a região sob estudo.

2.3.1 Modelos digitais de elevação MDT, MNT, MDE

Os modelos digitais de terreno (MDT), modelos numéricos do terreno (MNT) ou modelos digitais de elevação (MDE) são considerados representações gráficas da superfície terrestre. As referências sobre o assunto são relativamente antigas e envolvem distintas nomenclaturas e siglas. Segundo Miller e Laflamme (1958), um MDT é uma representação estatística de uma superfície contínua do terreno através de pontos selecionados.

De acordo com Kennie e Petrie (1990), a sigla MDT restringia-se, originalmente, à manipulação de dados de perfis altimétricos. Atualmente, entretanto, sua definição é mais genérica, caracterizando-se por ser uma forma particular de modelagem computadorizada, tratando problemas específicos da representação numérica de superfícies.

Segundo Câmara e Medeiros (1998, p.17),

O termo modelo numérico de terreno (MNT) é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associados à altimetria, também podem ser utilizados para modelar informações relativas às unidades geológicas, como teor de minerais, ou propriedades do solo ou subsolo, como aero magnetismo.

Segundo Valeriano (2008), na forma trivial, os MDE são arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel. Também são representações de dados topográficos passíveis de tratamento em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). O processamento destes dados em SIG permite a caracterização do estado do sistema terrestre e a identificação de processos em andamento, em abordagem especializada (VALERIANO e ROSSETI, 2010).

A elaboração de MDE pode ser subdividida em duas partes: amostragem e interpolação (FELGUEIRAS e CÂMARA, 2004). A amostragem consiste na obtenção de dados que indicam a variação de um fenômeno na superfície terrestre, representados pelas coordenadas (x,y,z) , onde x e y representa as coordenadas geográficas, latitude e longitude do ponto amostrado, e z a variável que está sendo analisada, como por exemplo, a altitude ou a condutividade elétrica.

2.3.2 Shuttle radar topography mission SRTM

No início do ano 2000 houve um grande avanço tecnológico na área de representação tridimensional com a iniciativa do projeto internacional denominado *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), desenvolvido pelo *Jet Propulsion Laboratory*, da National Aeronautics and Space Administration (NASA) dos Estados Unidos da América, com a participação do Centro Aeroespacial Alemão (DLR) e da Agência Espacial Italiana (ASI) (QUEIROZ FILHO e RODRIGUES, 2007).

Em fevereiro de 2000, a nave *Endeavour* coletou dados de 95% da área habitada do globo, usando interferometria. Esse método permite obter informações altimétricas da superfície terrestre pela comparação de duas imagens de radar que são coletadas simultaneamente, mas por antenas separadas por uma distância fixa. Nos onze dias dessa missão, foram gerados 9.8 *terabytes* de dados, que permitem a criação de modelos tridimensionais da superfície terrestre com 30 a 90 metros de resolução (Ibdem).

Na forma em que foram disponibilizados para nosso continente, os dados SRTM apresentam resolução horizontal (i.e., resolução espacial) de 3-arcossegundos (~90m) e resolução vertical de 1m (VALERIANO, 2008). As imagens correspondentes ao território brasileiro foram tratadas pela Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa

Agropecuária e disponibilizadas gratuitamente na internet através do endereço eletrônico: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>.

O SRTM se aplica melhor a locais onde as curvas de níveis não existam ou estejam em escalas insuficientes, como é o caso do município de Itaqui, onde as curvas de níveis das cartas topográficas se apresentam em escalas insuficientes para um levantamento mais detalhado. Segundo Valeriano (2008, p. 24),

Muito do exercício de interpretação geomorfológica do relevo foi desenvolvido sobre curvas de nível. Assim, pode-se acrescentar a geração de curvas de nível (onde quer que não existam ou estejam em escalas insuficientes) às aplicações diretas da elevação SRTM. A geração de isolinhas a partir de MDE compreende, em alguma etapa, um fatiamento da elevação nos níveis de interesse, impostos pelo operador.

No caso da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, em particular do município de Itaqui, que apresenta um relevo plano a suavemente ondulado é interessante que se imponham equidistâncias verticais pequenas, de modo a se obter um levantamento detalhado. Embora os dados tenham nominalmente uma resolução vertical de 1m, deve-se lembrar de algumas de suas características intrínsecas para o dimensionamento de suas limitações, além das estimativas de acurácia: a resolução espacial e o efeito dossel². Observe-se que em terrenos planos, um desnível pequeno pode corresponder a um grande deslocamento horizontal das isolinhas. Essa relação é conhecida e prevista pelos estudiosos da representação cartográfica do relevo (IMHOFF, 1982 apud VALERIANO, 2008). No caso da área de estudo deste trabalho, classificada pela EMBRAPA (1999) como “terreno plano”, pequenos desníveis correspondem a áreas grandes, o que coloca a resolução horizontal plana de 90 metros dos pixels das imagens SRTM num patamar bem adequado para os objetivos de uso das mesmas para construção de um modelo digital de elevação. Por outro lado, as suavidades das mudanças de declividade na região permitem aproveitar plenamente a resolução vertical de 1 metro das medições de radar da SRTM.

Porém o efeito dossel não é constante. Ele depende das condições da cobertura vegetal em cada local à época do sobre vôo da SRTM (11 a 22 de fevereiro de 2000). Entre essas condições estão variações naturais encontradas na vegetação preservada, tais como composição, arquitetura, status hídrico e biomassa (LE TOAN, 1992 apud

²Dados topográficos advindos de sensores podem expressar a presença de objetos não topográficos (prédios, casas, árvores). Os dados SRTM são sensíveis a estes efeitos o que pode afetar ocasionalmente o aproveitamento dos dados. Dada a expressão territorial da vegetação como fonte desses efeitos, usaremos aqui a expressão “efeito dossel”, simplesmente.

VALERIANO, 2008). Assim, em áreas de floresta densa, o que se observa nos dados SRTM em detalhe local são variações de efeito dossel misturadas às possíveis variações de curto alcance na topografia (VALERIANO, 2008).

2.3.2.1 Relevô

O relevô é um conjunto de qualidades geométricas da superfície, produto da sua história climática, geológica e biológica; isto sugere que os componentes do relevô poderiam indicar características do clima, da geologia e da biota (MUÑOS et al., 2011).

Ele é um elemento de extrema importância para a gestão e planejamento do uso da terra, pois determina a declividade, hipsometria e a área de superfície. A declividade influencia o tipo de uso de cada área, ou seja, se um determinado local deve ser conservado ou utilizado com finalidades econômicas e, neste caso, se é possível mecanizá-lo e até mesmo, que tipo de mecanização é possível (MACEDO et al., 2011).

Avanços na geomorfologia quantitativa (*quantitative geomorphology*), conhecida como *geomorfometria*, têm permitido a extração de uma variedade de padrões geométricos do relevô pela aplicação de técnicas de geoprocessamento sobre Modelos Digitais de Elevação (MDE), em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (MUÑOS et al., 2011).

O relevô representado por meio de MDE pode ser gerado a partir de dados topográficos, geodésicos, estereoscópicos (fotogramétricos ou radargramétricos), interferométricos e pontos obtidos a partir de varredura laser (TOUTIN, 1999; PINHEIRO, 2006; LIU, 2008; MACEDO et al., 2011). Nesta pesquisa, os dados de representação do relevô são obtidos a partir de SRTM, que se enquadraria em dados estereoscópicos do tipo radargramétricos.

2.3.2.1.1 Hipsometria

Hipsometria é uma técnica de representação da elevação de um terreno através de cores. As cores utilizadas possuem uma equivalência com a elevação do terreno. Geralmente é utilizado um sistema de graduação de cores. Esquemas convencionais de cores para a hipsometria começam com verde escuro para baixa altitude e, passando por amarelo e vermelho, até cinza e branco para grandes elevações.

Um esquema semelhante pode ser utilizado também para representar o relevo dos fundos de rios, e outros corpos de água, neste caso o mapa é chamado de carta batimétrica.

A curva hipsométrica é a representação gráfica do relevo em duas dimensões, que resume as relações de área e elevação de determinada bacia hidrográfica. A curva hipsométrica pode ser extraída com base na intersecção de planos horizontais com o modelo digital de elevação, onde a representação do terreno está em três dimensões, calculando-se as áreas acima de cada plano de elevação (ANDRADES FILHO et al., 2011).

2.3.2.1.2 Declividade

A declividade é definida como o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal. Seus valores podem variar de 0° a 90° , embora seja mais comumente expressa em porcentagem, de zero a infinito. Em campo, sua medição direta pode ser feita com clinômetro, cuja leitura é feita com uma visada entre dois pontos de um alinhamento na mesma orientação da vertente local. Indiretamente, podem-se computar desníveis em visadas horizontais, e calcular o ângulo operando-se os mesmos com suas respectivas distâncias. Em mapas topográficos, é estimada pela distância entre as curvas de nível. Em MDE, sua estimativa se baseia na análise dos desníveis entre pixels vizinhos. Como indicam as metodologias para seu cálculo, a declividade é a primeira derivada da elevação em relação à distância horizontal (VALERIANO, 2008).

Segundo Valeriano (2008, p.29),

O cálculo de declividade será sempre o resultado de um diferencial altimétrico entre vizinhos e, portanto, dependente da distância considerada. Reduzindo esta distância a um limite impraticável (centímetros, por exemplo), teremos estimativas de micro-relevo, mais associadas à rugosidade do solo do que à topografia em si. Reciprocamente, aumentando-se esta distância, tendemos a observar as tendências gerais do relevo, com uma previsível perda na percepção de variações locais. No caso dos MDE, as distâncias de derivação correspondem a um pixel (ou dois, conforme o cálculo específico) em sua resolução espacial. Portanto, seu cálculo, dentro de limites razoáveis, é favorecido por alta resolução espacial.

Os locais de declividade alta são normalmente áreas pequenas e dissociadas de sua vizinhança, enquanto que áreas de declividades baixas tendem a formar grandes manchas, mais coesas, no terreno.

Em áreas planas, um valor de declividade média pode ser representativo das ocorrências dentro de um grande pixel. Porém, em áreas de declividade variada, as características fazem com que a integração dos valores tenda a resultar em pouca representatividade (e em sub estimativa) dos valores ocorridos, tanto mais intensamente quanto maior for a área de integração (VALERIANO, 2008).

A decorrente dificuldade de se representar numericamente a declividade em escalas generalizadas restringe seu uso analítico a abordagens locais. Para escalas menores, recomenda-se que se trabalhe com classes definidas em função dos diferentes padrões de sua distribuição.

Ainda que se trabalhe em detalhe, a prática mostra que alguma suavização pode ser benéfica, como forma de atenuar a excessiva variação, que com frequência se apresenta indesejavelmente ruidosa (VALERIANO, 2008).

A área de estudo se apresenta de forma suavizada quanto a sua declividade o que favorece os estudos a partir de dados do SRTM, como visto anteriormente. A declividade é abordada neste trabalho pelo fato desta influenciar diretamente no uso e ocupação do solo. Tanto nas áreas urbanas como nas rurais a declividade se torna importante, pois pode caracterizar áreas de riscos de enchentes assim como áreas aptas para agricultura.

Diversos procedimentos de análise do relevo incluem a classificação da área em faixas de declividade, para posterior integração com outros planos de informação. Na Tabela 2.1 são apresentados os limites de classes de declividade para avaliação de terras.

Tabela 2.1 Limites de classes de declividade para avaliação de terras.
Fonte: Adaptado da Embrapa (1999).

Relevo	Faixa (%)
Plano	0-3
Suave ondulado	3-8
Ondulado	8-20
Forte ondulado	20-45
Montanhoso	45-75
Escarpado	Acima de 75

2.3.2.1.3 Rede de drenagem

A rede de drenagem de uma região define os caminhos de escoamento de água de chuva. As informações geradas podem ser utilizadas em diversas atividades, tais

como: estudo de relevo, determinação de áreas de risco de erosão do solo, transporte de poluentes, delimitação de área inundadas e estudo de bacias hidrográficas e microbacias (ROSIM,1999).

O trabalho com regiões menores como as microbacias permite uma visualização e um processamento mais rápido e detalhado, onde não se necessita o uso de supercomputadores para o processamento das informações e ainda permite ao operador obter a verdade de campo de forma rápida e sustentável.

A principal utilização da orientação de vertentes em geoprocessamento advém de seu poder de descrição da estrutura de hidrologia superficial. A sequência de pontos (pixels) alinhados pela orientação de vertentes determina um caminamento esperado de escoamento que se costuma chamar de linhas de fluxo. As linhas de fluxo, canais de drenagem e divisores de água podem ser definidos em função do arranjo local de diferentes orientações, o que fica prontamente visível em representações adequadas da variável. Assim, o delineamento de microbacias pode ser altamente favorecido quando feito com apoio da orientação de vertentes (VALERIANO, 2008).

O algoritmo utilizado para extração automática de redes de drenagem presente no software SPRING foi desenvolvido por Soille e Gratin (1994). Nele são usadas duas aproximações distintas para definir a rede de drenagem. A primeira é uma aproximação morfológica onde pixels que pertencem à rede são definidos por morfologias locais, sendo o coeficiente de curvatura o mais comum considerado, onde todos os pixels que têm este coeficiente côncavo mais alto que um determinado limiar são julgados pixels de drenagem. A segunda é uma aproximação hidrológica, onde um fluxo de água é simulado sobre a superfície topográfica.

Os vetores de drenagem que se formam a partir desse produto permitem que, com a associação de outros planos de informação, como a rede hidrográfica local e imagens da região, torne-se possível a delimitação de microbacias. Espera-se que os vetores de drenagens constituam redes, porém nem sempre isso acontece. Cabe então ao operador a pronta interpretação da provável rede e sua digitalização em vetor. Valeriano (2008) coloca que a fotoleitura das feições e o desenho final dos vetores devem ser feitos pelo intérprete, onde esses deverão ser coerentes e funcionais.

2.4 Água como indicador ambiental

A água pode ser considerada o grande indicador da situação ambiental, devido à sua capacidade de acumular resíduos e energias oriundas do meio que a rodeia. Os parâmetros abióticos e bióticos relacionados à água permitem o monitoramento ambiental, ou seja, um processo de coleta de dados, estudo e acompanhamento contínuo e sistemático das variáveis ambientais, com o objetivo de identificar e avaliar - qualitativa e quantitativamente - as condições dos recursos naturais em um determinado momento, assim como as tendências ao longo do tempo (BARIANI, C. et al., 2011).

Com base nesses levantamentos, obtêm-se informações sobre os fatores que influenciam o estado de conservação, preservação, degradação e recuperação ambiental da região estudada. Estes estudos podem subsidiar medidas de planejamento, controle, recuperação, preservação e conservação a nível municipal, além de auxiliar na definição de políticas ambientais.

Segundo Bariani, N. et al., (2011, p.4)

Quando o monitoramento ambiental está associado com a educação ambiental, permite, ainda, compreender melhor a relação das ações do homem com o meio ambiente, bem como o resultado da atuação das instituições por meio de planos, programas, projetos, instrumentos legais e financeiros, capazes de manter as condições ideais dos recursos naturais (equilíbrio ecológico) ou recuperar áreas e sistemas específicos. Produz ainda um sentimento de integração do homem com a natureza.

2.4.1 Cotas do rio Uruguai

As cotas do rio Uruguai variam diariamente conforme a dinâmica das hidroelétricas e precipitação, principalmente, na região oeste do estado de Santa Catarina. As cotas podem influenciar diretamente na sucessão e adaptação da vegetação presente nas encostas do rio (CRUZ, 2005).

Além das cotas se constituírem em um fator fundamental à vazão ecológica, essas ainda podem influenciar diretamente na qualidade da água. Estudos como de Bariani, C. et al., (2011), onde foram analisadas as relações das cotas do rio Uruguai com análises físico-químicas e microbiológicas da água, em um período de oito meses,

demonstrou que cotas mais altas assumem um efeito diluidor, diminuindo as concentrações de poluentes.

Portanto as cotas podem ser consideradas um parâmetro ambiental de extrema importância para o entendimento da dinâmica dos ecossistemas e da qualidade da água, pois suas variações influenciam diretamente a preservação e qualidade do meio.

Curva-chave é a relação entre os níveis d'água com as respectivas vazões de um posto fluviométrico. Para o traçado da curva-chave em um determinado posto fluviométrico, é necessário que disponha de uma série de medições de vazão no local, ou seja, a leitura da régua e a correspondente vazão (dados de h e Q). A curva chave usa modelo de seção com controle local, ou seja, predominância da declividade do fundo sobre as demais forças do escoamento, como por exemplo, a pressão. Com isso, temos uma relação biunívoca entre profundidade e vazão (PEDRAZZI, 2012).

Segundo Pedrazzi (2012), partindo-se desta série de valores (h e Q) a determinação da curva-chave pode ser feita de duas formas: gráfica ou analiticamente. A experiência tem mostrado que o nível d'água (h) e a vazão (Q) ajustam-se bem à curva do tipo potencial, que é dada por:

$$Q = a \cdot (h - h_0)^b \quad (\text{Eq. 01})$$

onde: Q é vazão em m³/s;

h é o nível d'água em m (leitura na régua);

a, b e h₀ são constantes para o posto, a serem determinados;

h₀ corresponde ao valor de h para vazão Q = 0.

Os dados hidrológicos estão disponíveis atualmente no site da Agência Nacional de Águas (ANA, 2012).

2.4.2 Precipitação pluviométrica

A precipitação é um fenômeno fundamental para a vegetação, pois é o elemento que mais afeta a produtividade das culturas agrícolas. Se por um lado a precipitação contribui para a manutenção da vida, por outro este fenômeno pode ocasionar degradação dos solos e contaminação das águas.

A precipitação dependendo da intensidade, duração e frequência pode ser considerada um forte elemento natural de degradação, associado à erosão dos solos e ao

transporte de materiais alterando a topografia do local ou de uma bacia hidrográfica (BARBIERI e PEREIRA FILHO, 2011).

Portanto, a pluviometria se constitui em uma técnica importante para a detecção de ambientes antropizados, pois a água de chuva é capaz de transportar nutrientes, partículas de solo, agrotóxicos, etc. Com a incidência de precipitação, os elementos presentes no solo são transportados para dentro dos sistemas aquáticos que, posteriormente, poderão ser detectados por meio de análises físicoquímicas e microbiológicas da água.

2.4.3 Análises físicoquímicas da água

A água é o solvente universal. Além de sua estrutura, composta por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, a água carrega ainda diversas substâncias. Algumas substâncias são geradas pelas atividades antrópicas, porém outras surgem das interações com o meio terrestre.

Segundo Tundisi e Tundisi (2008, p.96):

A água natural contém um grande número de substâncias dissolvidas, o que lhe confere uma natureza química bastante complexa. Evidentemente, a origem das substâncias químicas e dos elementos que se encontram dissolvidos nas águas de ecossistemas aquáticos interiores é a geoquímica do solo e das rochas das bacias hidrográficas que os drenam para rios e lagos.

Portanto, os constituintes da água são os resultados dos processos químicos e da interação com o ambiente terrestre e aquático; sendo assim, para entender os processos em andamento, se faz necessário um monitoramento de variáveis e discussões sobre as características físicoquímicas da água e sua interação com o uso do solo. Além de propriedades como o potencial de hidrogênio e oxigênio dissolvido, este trabalho apresenta medições de condutividade elétrica, sódio, potássio e cloretos, além de realizar uma avaliação microbiológica da água.

2.4.3.1 Potencial de hidrogênio pH

O pH é medido por meio de um equipamento baseado no método eletrométrico, constituído basicamente por um eletrodo e um circuito potenciômetro. O aparelho é

calibrado (ajustado) de acordo com os valores referenciados em todas as soluções de calibração.

Para que se conclua o ajuste é então calibrado em dois ou mais pontos. Normalmente utiliza-se tampões de pH = 4, pH = 7 e pH = 10, a 25°C ou a temperatura diferenciada para equipamentos com compensação automática. Uma vez calibrado, o aparelho estará pronto para uso. A medição é feita em função da leitura de milivolts que o eletrodo gera quando submerso na amostra. Esses milivolts são convertidos para uma escala de pH. O aparelho faz essa conversão e tendo como uma escala usual de 0 a 14 pH (RAMIREZ et al., 2009).

Segundo a CETESB (2009, p.22),

O pH é uma medida do grau de acidez ou alcalinidade da água, sendo 7 o pH neutro. Valores acima de 7 (até 14) indicam o aumento do grau de alcalinidade e abaixo de 7 (até 0) o aumento do grau de acidez do meio. Algumas substâncias têm seus efeitos tóxicos atenuados ou magnificados em pHs extremos, como aquelas presentes em despejos de produtos químicos.

Segundo APHA, AWWA e WPCF (2005), o pH pode ser de origem natural, como a dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese, ou ainda antropogênica, como o despejo de resíduos industriais e domésticos.

Águas com valores de pH afastados da neutralidade podem afetar a vida aquática. Com a diminuição do pH da água (por exemplo, por meio do despejo de ácidos), os peixes apresentarão uma maior frequência respiratória, passando a abocanhar o ar na superfície; em pH extremamente baixo, têm morte imediata. Por outro lado, com o aumento do pH (por exemplo, pelo despejo de soda), há formação de óxido de cálcio que provoca corrosão do epitélio branquial e das nadadeiras, levando os peixes à morte. A amônia, por exemplo, quando presente no meio em pH acima de 9 e altas temperaturas tende a ser altamente tóxica. Já alguns metais em pH menor que 4 apresentam uma maior toxicidade.

Nos corpos d'água valores elevados de pH podem estar associados a proliferação de algas, mudanças bruscas na faixa de pH podem ser indicativos de presença de efluentes industriais (APHA; AWWA; WPCF, 1992).

Para a vida aquática, ocorrem variações nas tolerâncias de espécie para espécie a diferentes pHs, mas valores entre 7 e 8 são, geralmente, considerados adequados para

peixes de água doce. A Resolução n° 357 (CONAMA 2005) estabelece que águas das Classes Especial, I e II, são destinadas, entre outros, à preservação da vida aquática (artigo 4°), e estipula que a faixa de pH para essas Classes deve ser de 6,0 a 9,0.

Valores de pH abaixo de 5, indicando acidez, já podem provocar mortandades e pHs alcalinos entre 9 e 10 podem ser prejudiciais em certas ocasiões. Águas com pH acima de 10 são consideradas letais para a grande maioria dos peixes.

2.4.3.2 Oxigênio dissolvido OD

O oxigênio dissolvido (OD) pode ser medido por meio de um oxímetro. O método eletrométrico para determinação de OD consiste na medição de corrente elétrica devido à redução eletroquímica do oxigênio ($O_2 \rightarrow OH^-$) da amostra, que atravessa a membrana da sonda, pela aplicação de uma voltagem entre o cátodo e o ânodo. A corrente elétrica é linearmente proporcional à concentração de oxigênio.

O oxímetro utiliza o método eletrométrico e está constituído de duas partes: um potenciômetro e uma sonda de OD. Antes das medições, o oxímetro deve ser ajustado (ou calibrado), conforme estabelecido pelo fabricante do equipamento. O ajuste por um ponto é realizado utilizando o ar atmosférico, que corresponde a 20,9% (RAMIREZ et al., 2009).

O OD é um fator limitante para manutenção da vida aquática e de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais. Durante a degradação da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução de sua concentração no meio.

O grande consumo de oxigênio pelas bactérias presentes no meio aquático é uma das causas mais frequente de mortandade de peixes. A queda na concentração de oxigênio nos corpos d'água, principalmente no período noturno, quando há um aumento significativo do consumo de oxigênio pela vegetação aquática, pode acarretar morte de peixes. Esse fato pode ser verificado nos períodos matutinos, quando há presença de peixes boiando na superfície dos corpos d'água.

O valor mínimo de oxigênio dissolvido para a preservação da vida aquática, estabelecido pela Resolução n° 357 (CONAMA, 2005) é de 5,0 mg/L, mas existe uma variação na tolerância de espécie para espécie. Segundo a CETESB (2009, p.10),

As carpas, conseguem suportar concentrações de OD de 3,0 mg/L, sendo que a carpa comum chega até mesmo a sobreviver por até 6 meses em águas frias e sem nenhum Oxigênio Dissolvido, (ANOXIA). Tais valores seriam fatais para as trutas, que necessitam de uma concentração maior de Oxigênio Dissolvido para sobreviverem, em torno de 8,0 mg/L de OD. O peixe Dourado sobrevive por até 22 horas em águas anóxicas a 20°C, enquanto que as larvas destes peixes são menos tolerantes que os adultos. Isto porque os valores letais dependem do estágio de vida dos organismos, sendo geralmente mais exigentes os estágios mais jovens. De maneira geral, valores de oxigênio dissolvido menores que 2 mg/L pertencem a uma condição perigosa, denominado HIPOXIA, ou seja, baixa concentração de Oxigênio dissolvido na água.

A concentração de oxigênio dissolvido é um dos parâmetros mais importantes em Limnologia. O oxigênio é, evidentemente, um gás de grande importância biológica e na água participa de inúmeras reações químicas. Sua dissolução na água é muito rápida e depende das interações ar/água, ou seja, da temperatura da água e da pressão atmosférica (TUNDISI e TUNDISI, 2008).

2.4.3.3 Condutividade elétrica CE

Segundo APHA, AWWA e WPCF(2005), a condutividade é a medida da propriedade de uma solução aquosa de conduzir a corrente elétrica. Esta capacidade depende da presença de íons e da sua concentração, mobilidade, valência e da temperatura do meio.

Segundo a CETESB (2009, p.10),

A condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados.

Portanto de maneira geral a condutividade elétrica é capaz de medir a quantidade de sais presentes na água, tornando-se assim uma ferramenta de fundamental importância para diagnóstico e avaliação dos corpos hídricos. Em microbacias urbanas ou nas de características rurais, a condutividade elétrica (CE) pode expressar a degradação dos ambientes por influências antrópicas, tanto por meio de efluentes domésticos, industriais ou pela própria agricultura, que são características das áreas estudadas.

Na agricultura, a CE é bastante utilizada para medir a dureza da água, pois uma água “dura” para a agricultura é uma água que possui a CE acima de 200µS. Isto a caracteriza imprópria para a irrigação agrícola, podendo trazer vários prejuízos às culturas. No caso da cultura do arroz irrigado, característico da região estudada, a alta CE pode causar danos irreversíveis às plantas. Segundo a Sociedade Sul - Brasileira de Arroz Irrigado - SOSBAI (2010, p.88):

O arroz irrigado é considerado uma cultura moderadamente sensível à salinidade. Quando a solução do solo é afetada por altos níveis de salinidade, ocorrem reduções na taxa de crescimento, pois, além da toxicidade pela elevada concentração de sais, as plantas ficam incapacitadas de absorver quantidade suficiente de água, pelo decréscimo do componente osmótico do solo. As cultivares de arroz com alto potencial produtivo utilizadas no Rio Grande do Sul não toleram irrigação com água cujo teor de NaCl seja igual ou superior a 0,25 %. Águas com esses teores, aplicadas a partir do início da fase reprodutiva, podem determinar redução superior a 50% na produtividade.

Dependendo do estágio de desenvolvimento do arroz, em especial as fases de plântula e florescimento, a salinidade da água de irrigação pode causar danos irreversíveis, como diminuição do perfilhamento, esterilidade de espiguetas e morte de plantas (SOSBAI, 2010). Por esses motivos, torna-se extremamente importante o monitoramento da condutividade elétrica, tanto na água de irrigação como na água de drenagem, bem como nas lavouras, podendo, assim, se ter um controle da qualidade da água e evitar tanto prejuízos econômicos quanto os ambientais, como a baixa produtividade e a contaminação dos rios.

2.4.3.4 Sódio Na⁺

Segundo Tundisi e Tundisi (2008), uns dos principais íons dissolvidos na água são o sódio (Na⁺) e o potássio (K⁺). Os sais dissolvidos nas águas podem variar segundo a origem e permanente contribuição de rochas ígneas ou sedimentares e por isso, sua concentração varia bastante nas águas continentais.

Segundo CETESB (2009, p.27),

Todas as águas naturais contêm algum sódio, já que ele é um dos elementos mais abundantes na Terra e seus sais são altamente solúveis em água, encontrando-se na forma iônica (Na⁺), e nas plantas e animais, já que é um elemento ativo para os organismos vivos. O aumento das concentrações de

sódio na água pode provir de lançamentos de esgotos domésticos e efluentes industriais.

O excesso de sódio na água de irrigação pode acarretar em salinidade do solo e conseqüentemente a deficiência hídrica das plantas, isto é, mesmo havendo água disponível no solo, as plantas não conseguem absorvê-la. O excesso de sódio em efluentes sanitários, agroindustriais e indústria, pode ocasionar dispersão das argilas, dificuldade de infiltração de água no solo (BERTONCINI, 2008) e, portanto, acaba prejudicando o desenvolvimento de culturas agrícolas.

Muitas águas superficiais, incluindo aquelas que recebem efluentes, têm níveis de sódio abaixo de 50 mg/L, porém as concentrações nas águas subterrâneas frequentemente excedem 50 mg/L, devido a grande quantidade desse mineral nas rochas. Na água potável, geralmente, a concentração de sódio é menor que 20 mg/L, porém concentração acima de 200 mg/L pode dar à água um gosto não aceitável (CETESB, 2009).

Portanto, o sódio, assim como a condutividade elétrica, devem ser medidos em fontes de águas que sirvam para dessedentação de animais e para a irrigação agrícola, pois o sódio pode deixar a água inaceitável ao gado ou até mesmo prejudicar as culturas agrícolas.

2.4.3.5 Potássio K^+

Largamente utilizado da agricultura, juntamente com o nitrogênio e o fósforo, o potássio é o sétimo elemento mais comum na crosta terrestre e ocorre em rochas, solos, oceanos e selagens. Esse macro nutriente possui importância fundamental para as culturas agrícolas, pois auxilia no desenvolvimento das plantas. Segundo a CETESB (2009), mais de 95% da produção mundial de potássio é usada na fabricação de fertilizantes.

Na água potável, o potássio está presente devido ao uso de permanganato de potássio com o oxidante no tratamento de águas. As concentrações de potássio normalmente encontradas na água para consumo humano são baixas e não representam risco à saúde, porém, o uso de cloreto de potássio para remover cálcio e magnésio da água dura, através da substituição por sódio e potássio, pode aumentar significativamente a exposição.

Segundo a CETESB (2009, p.23),

Dados do Canadá indicam que a concentração média de potássio na água bruta e potável de diferentes áreas variam de menor que 1a8mg/L; entretanto, foram obtidas concentrações acima de 51mg/L na Província de Saskatchewan que possui um dos maiores depósitos de potássio do mundo.

Para a irrigação de culturas agrícolas recomenda-se que os limites de potássio não ultrapassem 2 mg/L(FAO; UNESCO, 1964).

2.4.3.6 Cloretos Cl^-

O cloreto é o íon Cl^- que se apresenta nas águas subterrâneas através de solos e rochas. Nas águas superficiais são fontes importantes as descargas de esgotos sanitários, sendo que cada pessoa expele através da urina cerca de 6 g de cloreto por dia, o que faz com que os esgotos apresentem concentrações de cloreto que ultrapassam a 15 mg/L (CETESB, 2009).

O ânion cloreto é um dos ânions de maior ocorrência nas águas e efluentes. A concentração de cloretos em águas naturais é muito variável, se tornando objetável em concentrações acima de 250 mg/L, devido ao gosto salino quando presente o cátion sódio (APHA; AWWA; WPCF, 1992).

De encontro à literatura já citada, a Resolução n° 20 (CONAMA, 1986), também enquadra os cloretos como substâncias potencialmente prejudiciais, onde se permitem teores abaixo de 250 mg/L em águas, confirmando o que já foi exposto.

Portanto, o aumento brusco do teor de cloretos pode indicar uma contaminação da água por águas residuais. Isso porque como cada pessoa expele 6g por dia de cloreto, numa cidade como Itaquí, por exemplo, que possui 38.151 habitantes, a carga de cloretos diárias recebida é cerca de 229Kg.

2.4.4 Análises microbiológicas da água

As bactérias são importantes indicadores da qualidade da água, como definido pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, o grupo das bactérias coliformes é o principal indicador da adequação das águas para usos domésticos, industriais e de outros tipos. “*La experiencia ha demostrado que la*

densidad del grupo de los coliformes es un indicador del grado de contaminación y, por tanto, de la calidad sanitaria” (APHA; AWWA; WPCF, p.9010 A, 1992).

Estudos na área de abrangência deste trabalho demonstraram que as análises de microorganismos e cloretos, associadas a informações geográficas, conformam um conjunto coerente de informações capaz de avaliar a condição do meio ambiente com boa confiabilidade (BARIANI, C. et al., 2011).

Portanto, é necessário que se correlacionem os dados das variáveis físico-químicas com as microbiológicas para se obter um maior grau de confiabilidade e conseqüentemente, melhor avaliação dos impactos ambientais pelas atividades antrópicas.

2.4.4.1 Mesófilos

A análise dos microrganismos mesófilos, bastante utilizada para identificar contaminações em alimentos, atualmente também tem sido usada para caracterizar a qualidade da água, principalmente a água destinada a irrigação de frutas e verduras consumidas *in natura*. A alta concentração de bactérias mesófilas pode indicar um ambiente contaminado (ANVISA, 2001).

2.4.4.2 Coliformes Totais

Os coliformes caracterizam poluição originária de dejetos fecais de animais de sangue quente. As bactérias do grupo dos coliformes são bactérias que vivem normalmente nos intestinos de todas as pessoas. Eles não causam doenças; pelo contrário, ajudam a nossa digestão e se alimentam de alguns produtos desta. Mas eles existem em tão grande número que, apesar de microscópicos, chegam a formar a maior parte do volume fecal. Cada ser adulto expele diariamente, com suas fezes, um número situado entre 50 bilhões e 400 bilhões de bactérias coliformes. Tendo em vista esse elevado número e o fato que, em uma cidade, somente uma parcela relativamente pequena dos habitantes é portadora de bactérias patogênicas, percebe-se facilmente que a proporção de coliformes em relação a patogênicos, nos esgotos é várias ordens de magnitudes superiores (BARIANI, C. et al., 2011).

Como esse tipo de bactéria não se reproduz nas águas limpas, mas só no intestino, sua presença indica obrigatoriamente a presença de material intestinal. E, dado o

número extraordinário que ela se encontra, é praticamente impossível que a presença de matéria fecal, ainda que extremamente diluída, não seja revelada pela presença de coliformes. Em resumo, a presença de coliformes na água indica a presença de fezes e, esta, por sua vez, significa a possibilidade da presença de patógenos, dada a provável existência de pessoas doentes ou portadoras em meio à população que deu origem àqueles esgotos (TUNDISI, J.G. e MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

2.4.5 Análise estatística

Visto a grande complexidade de interpretação de dados ambientais devido a suas variações temporais decorrentes de fenômenos do meio, torna-se fundamental uma discussão de medidas estatísticas que auxiliem a interpretação desses fenômenos. Segundo Martins e Donaire (1990), um dos maiores problemas para o investigador de fenômenos humanos ou físicos é o estabelecimento de um modelo matemático que descreva e explique o fenômeno ocorrido na vida real, com boa aproximação. Na presente dissertação as correlações e o teste de significância entre as variáveis limnológicas e de uso do solo são apresentadas.

A correlação indica a força e a direção do relacionamento linear entre duas variáveis; em outras palavras, ela indica o grau de relação existente entre duas variáveis aleatórias. Podendo seguir três padrões: correlação positiva, correlação negativa, ou ausência de correlação.

Para avaliar o grau de correlação linear entre duas variáveis, ou seja, medir o grau de ajustamento dos valores em torno de uma reta (MARTINS e DONAIRE, 1990), se utilizou o coeficiente de correlação de Pearson para as correlações entre as variáveis limnológicas, que é dado por:

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}} \quad (\text{Eq. 02})$$

onde “n” é o número de observações, e “x” e “y” são as variáveis aleatórias.

Os valores limites de r são -1 e +1, isto é, o valor de r pertence ao intervalo [-1,+1] (CRESPO, 1995). Para uma melhor interpretação dos resultados, é comum calcular também o seu coeficiente de determinação. Este coeficiente é simbolizado por r² (quadrado do coeficiente de correlação), e indica quanto da variação total é comum

aos elementos que constituem os pares analisados, ou seja, o percentual da variância total da variável dependente (TAMIOSSO, 2011).

Para avaliar o grau de relação entre as variáveis limnológicas e de uso do solo utilizou-se o coeficiente de correlação de Spearman, que é dado por:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N d_i^2}{N^3 - N} \quad (\text{Eq. 03})$$

O coeficiente de correlação se Spearman, chamado também de coeficiente de correlação posto-ordem r_s Spearman, foi a primeira análise estatística baseada em postos. Ele é uma medida de associação entre duas variáveis que requer que ambas as variáveis sejam medidas pelo menos em uma escala ordinal, de modo que os objetos ou indivíduos em estudo possam ser dispostos em postos em duas séries ordenadas (SIEGEL e CASTELLAN, 2006).

Se os sujeitos cujos escores são usados no cálculo de r_s são extraídos aleatoriamente de uma mesma população, pode-se usar esses escores para determinar se as duas variáveis estão associadas na população. Isto é, pode-se testar a hipótese nula de que as duas variáveis sob estudo não estão associadas (isto é, são independentes) na população e o valor observado de r_s difere de zero somente devido ao acaso. Então testa-se a hipótese H_0 : não há associação entre X e Y, contra a hipótese H_1 : existe associação entre X e Y (um teste bilateral). Ou H_1 : existe associação positiva (ou negativa) entre X e Y (um teste unilateral).

3 METODOLOGIA

A identificação dos efeitos das atividades antrópicas nas microbacias analisadas foi alcançada por meio das etapas metodológicas sintetizadas no fluxograma da Figura 3.1., sendo as principais: coleta, processamento e interpretação de dados limnológicos e de sensoriamento remoto e posterior correlação dos resultados obtidos.

3.1. Definição dos pontos amostrais

Foram analisados *in situ* e coletados 12 pontos nas microbacias hidrográficas em torno à área urbanizada do município de Itaquí, nos meses de setembro, outubro e novembro de 2011. A Figura 3.2 mostra os pontos de coleta e a respectiva microbacia de cada ponto amostrado.

3.1.1 Reconhecimento dos pontos amostrais

Para o reconhecimento de cada ponto se utilizou visitas a campo com GPS Garmin e máquinas fotográficas.

As características de cada ponto, localização e respectivas utilizações são apresentados nas Figuras 3.3 a 3.14.

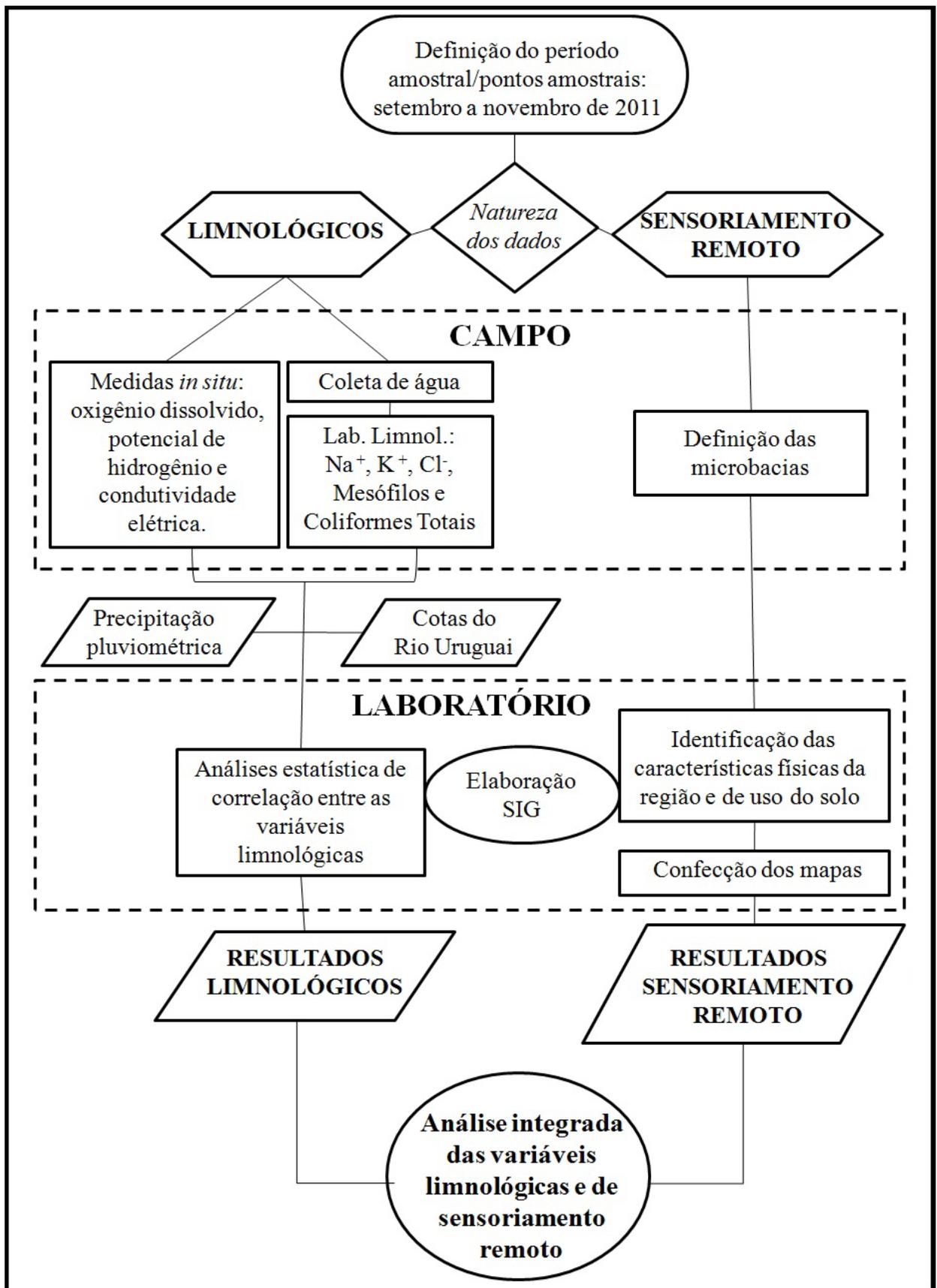


Figura 3.1 Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa

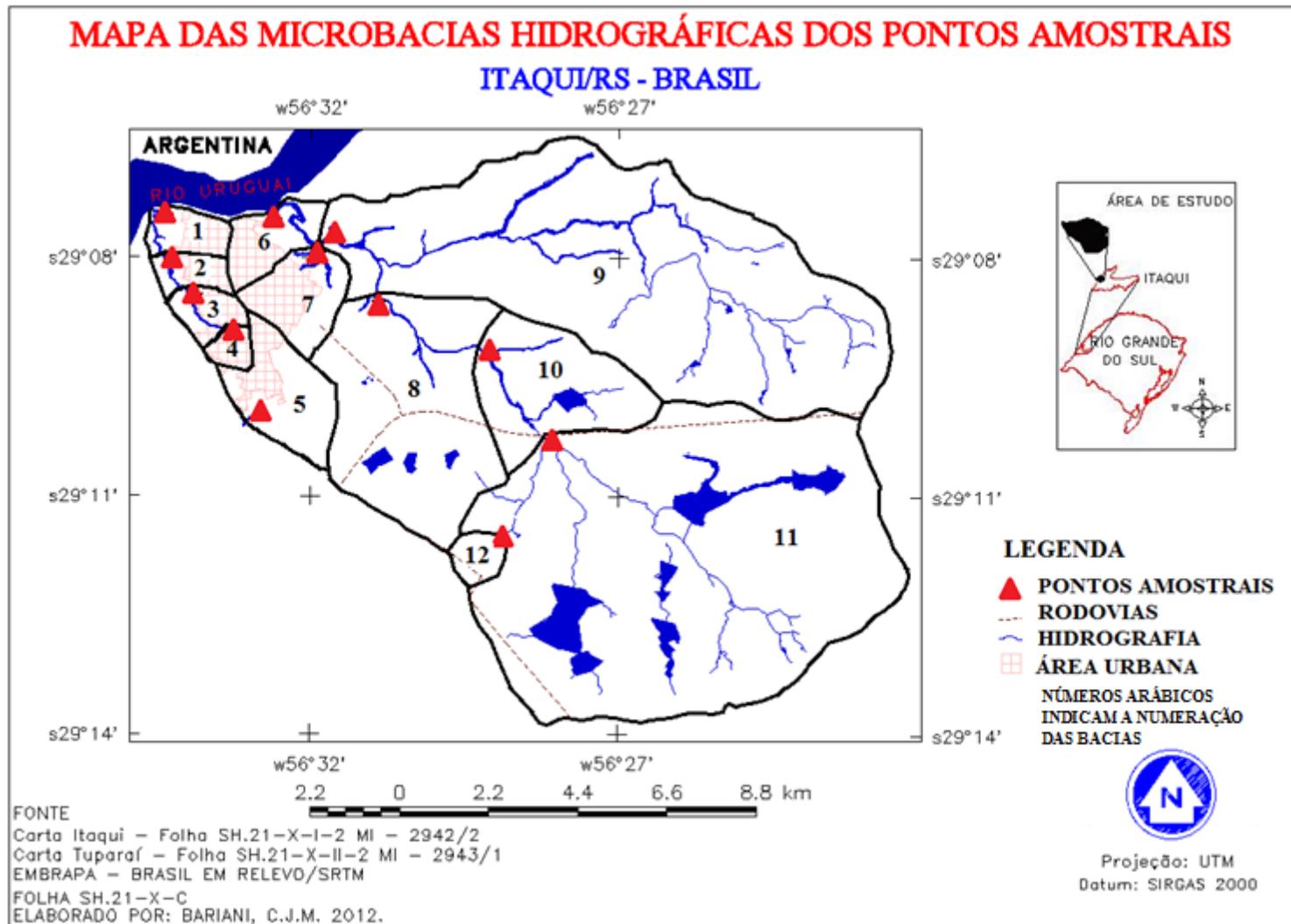


Figura 3.2 Mapa das microbacias hidrográficas dos pontos amostrais



Figura 3.3 Foto do ponto Foz do Olaria - Microbacia 01



Figura 3.4 Foto do ponto Hipódromo - Microbacia 02



Figura 3.5 Foto do ponto Camil - Microbacia 03



Figura3.6 Foto do ponto Ciclovía- Microbacia 04

1-Foz do Olaria - Microbacia 01
- Localizado a $29^{\circ} 7'5.52''$ de latitude sul e $56^{\circ}34'27.09''$ de longitude oeste. Ponto onde se unem o Arroio Olaria e o Rio Uruguai. **Utilizado pela população ribeirinha para banho e pesca.**

2-Hipódromo- Microbacia 02 - Localizado a $29^{\circ} 7'52.20''$ de latitude sul e $56^{\circ}34'9.67''$ de longitude oeste. Cercado por campo nativo, é **utilizado para dessedentação de animais.**

3-Camil - Microbacia 03 - Localizado a $29^{\circ} 8'10.98''$ de latitude sul e $56^{\circ}33'58.60''$ de longitude oeste. Cercado por campo nativo, **utilizado para dessedentação de animais.**

4-Ciclovía- Microbacia 04 - Localizado a $29^{\circ} 8'44.03''$ de latitude sul e $56^{\circ}33'15.41''$ de longitude oeste. Ponto no Arroio Olaria **utilizado para despejo de efluentes domésticos.**



Figura 3.7 Foto do ponto Acesso Sul - Microbacia 05



Figura 3.8 Foto ponto Desembocadura Cambaí - Microbacia 06



Figura 3.9 Foto do ponto Ponte Cambaí - Microbacia 07



Figura 3.10 Foto do ponto Bomba Arroz - Microbacia 08

5-Acesso Sul- Microbacia 05 - Localizado a $29^{\circ} 9'56.27''$ de latitude sul e $56^{\circ}32'51.88''$ de longitude oeste, junto a Avenida Joaquim de Sá Brito. **Utilizado para despejos de efluentes domésticos, porém suas águas abastecem uma barragem utilizada para irrigação de arroz.**

6 - Foz do Cambaí - Microbacia 06 - Localizado a $29^{\circ} 7'5.80''$ de latitude sul e $56^{\circ}32'47.19''$ de longitude oeste. Ponto onde se unem o Arroio Cambaí e o Rio Uruguai. **Utilizado pela população ribeirinha para banho e pesca.**

7-Ponte Cambaí- Microbacia 07 -Localizado a $29^{\circ} 7'13.38''$ de latitude sul e $56^{\circ}32'38.23''$ de longitude oeste é um ponto no Arroio Cambaí **utilizado para recreação (banho e pesca).**

8-Bomba Arroz - Microbacia 08-Localizado a $29^{\circ} 7'33.27''$ de latitude sul e $56^{\circ}31'42.14''$ de longitude oeste é um ponto no Arroio Cambaí, onde há captação de água para **irrigação de lavouras de arroz.**



Figura 3.11 Foto do ponto Desembocadura Canal Antigo-
Microbacia 09



Figura 3.12 Foto do ponto Ponte Pitangueira - Microbacia 10



Figura 3.13 Foto do ponto Ponte Br (Microbacia 11)



Figura 3.14 Foto do ponto Nascente (Microbacia 12)

9- **Desembocadura Canal antigo- Microbacia 09** - Localizado a 29° 7'49.65" de latitude sul e 56°30'59.71" de longitude oeste é um ponto onde ocorre a união das águas do Arroio Cambaí com as águas do Canal Antigo. **Utilizado para drenagem de lavouras de arroz e dessedentação de animais.**

10- **Ponte Pitangueira**- Localizado a 29° 8'59.35" de latitude sul 56°29'33.97" de longitude oeste. É um ponto no Arroio Cambaí cercado por lavouras de arroz e que recebem as águas provenientes do ponto Ponte BR. **Utilizado para a irrigação nos meses de (novembro e fevereiro) e dessedentação de animais nos meses de (março a outubro) onde esses se alimentam da resteva³ do arroz.**

11-**Ponte BR** - Localizado a 29°10'6.91" de latitude sul e 56°28'27.29" de longitude oeste na BR 472, é uma área rural, cercada por campo **utilizado pela bovinocultura**, onde recebe a junção de dois braços do Arroio Cambaí. O braço localizado a leste recebe água de barragens **utilizadas para irrigação do arroz**, já o braço localizado a oeste do ponto recebe influência de um depósito de casaca de arroz e uma pedreira abandonada.

12- **Nascente** - Localizado a 29°11'24.22" de latitude sul e 56°28'54.08" de longitude oeste. **Utilizado para a dessedentação de animais.**

³Utilização da planta de arroz como forragem para alimentação animal antes da produção do grão e logo após a colheita.

3.1.2 Coletas

As coletas foram feitas com auxílio de barcos nos locais navegáveis, e com carro e moto nos locais de difícil acesso. As amostras foram coletadas em garrafas de plásticos estéreis. Segundo recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, "as garrafas devem ser lavadas com detergente e água quente, enxaguadas com água quente para tirar todo o resíduo do detergente, e por último enxagua-se com água destilada" (APHA; AWWA; WPCF, 1992, p. 9-38). Nos locais não navegáveis se priorizou coletar o tanto quanto possível distante da costa do arroio, córrego ou rio, para evitar influências da costa, como resíduos de solo e vegetação em decomposição (Figura 3.15).



Figura 3.15 Foto coletas de amostra em ponto navegável e não navegável.

3.2 Cotas

Os dados referentes as cotas do rio Uruguai, nos meses de setembro, outubro e novembro de 2011, foram obtidos através do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) (ANA, 2012).

3.3 Pluviometria

Os dados pluviométricos da região para o período de setembro a novembro de 2011 foram obtidos por meio de boletins mensais de pluviometrias para estado do Rio Grande do Sul. Esses boletins são gerados mensalmente pela Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO, 2011).

3.4 Variáveis limnológicas

As análises foram feitas nos laboratórios de Química, Microbiologia e no Laboratório Interdisciplinar Integrado (LABii), da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA).

3.4.1 Medidas das variáveis físicoquímicas

As variáveis físicoquímicas como oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e potencial de hidrogênio foram feitas a campo por meio de eletrodos portáteis(Figura 3.16).

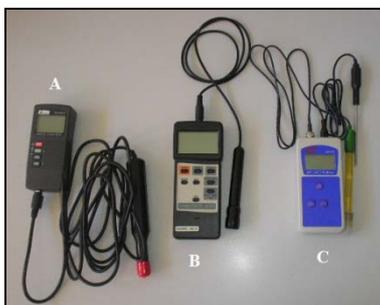


Figura 3.16 Aparelhos digitais portáteis levados a campo. A- Oxímetro, modelo MO-900; B- Condutivímetro, modelo Instrutherm CDR870; e C- Phmetro, modelo Q400HM.

As análises de sódio e potássio foram feitas por meio do fotômetro de chamas, modelo Q398M2 e as análises de cloretos seguiram as metodologias do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WPCF, 2005). O procedimento detalhado encontra-se no Anexo 1.

3.4.2 Medidas das variáveis microbiológicas

As análises microbiológicas seguiram a metodologia do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (9215 -Contagem de Heterotróficos em Placas, 1992). Foram utilizado dois meios de cultura, o meio de cultura Nutriente Ágar para a contagem de mesófilos e o meio MacConkey para a contagem de coliformes

totais. A composição dos meios bem como os procedimentos detalhados encontram-se no Anexo 2.

A contagem de mesófilos e coliformes totais consiste em calcular o número de bactérias vivas heterótrofas que existem na água. As colônias surgem aos pares ou isoladas, e o termo utilizado são de unidades formadoras de colônias (UFC). Essas colônias surgem em meio de cultura propicio e com tempo de incubação determinado (APHA p.9215 A, 1992).

3.4.3 Medidas estatísticas

Para as análises estatísticas se utilizou o programa Microsoft Office Excel. Este programa é produzido pela Microsoft e se trata de um programa de planilha eletrônico, onde é possível realizar os cálculos correspondentes aos procedimentos estatísticos escolhidos. Também foi utilizado um complemento estatístico do Excel (ANALYSE-IT, 2009), para verificar os resultados da correlação de Spearman (ver http://www.analyse-it.com/support/documentation/220/standard/spearman_correlation.htm).

A correlação de Pearson entre as variáveis limnológicas foi feita por meio da função "CORREL" presente no aplicativo Excel. A função "CORREL" retorna o coeficiente de correlação dos intervalos de células da matriz1 e matriz2.

Algumas observações são importantes quando se utiliza a função "CORREL": a) se uma matriz tiver células vazias, essas serão ignoradas, no entanto, células com valor zero serão incluídas; b) se a matriz 1 e matriz 2 possuírem um número diferente de pontos de dados, "CORREL" retornara ao valor de erro "#N/D"; e c) se a matriz 1 e a matriz 2 estiverem vazias, ou se o desvio padrão destes valores for igual a zero, "CORREL" retornará ao valor de erro "#DIV/0".

Para calcular o coeficiente de correlação de Spearman, foi feita uma lista, no aplicativo Excel, dos doze pontos amostrados com os resultados de suas respectivas variáveis analisadas. Para determinar os postos de cada variável, em colunas, foram ordenados os valores da mesma do menor para o maior, atribuindo sequencialmente um valor de 1 a 12 (postos) a cada um; continuando sucessivamente com as outras colunas, sempre expandindo a seleção na hora de ordenar uma nova variável. Posteriormente foi feita a subtração entre os postos para cada duas variáveis, X e Y, que na fórmula corresponde ao valor de d_i ; feito isso, se elevou d_i ao quadrado (d_i^2) para obter $\sum d_i^2$.

Então foi inserido este valor, juntamente com o valor do N (12, correspondente ao número de amostras) diretamente na equação $(r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N d_i^2}{N^3 - N})$. Para verificação do cálculo do coeficiente de correlação de Spearman assim obtido, utilizou-se a função já implementada e disponível no complemento “Analyse-it” do Excel e no programa R Estatística (R, 2011).

Para as variáveis de uso do solo, levou-se em consideração a porcentagem de cada classe independentemente e também a área acumulada entre as microbacias ligadas pela influência da rede de drenagem. Na Tabela 3.1 são apresentados os nomes das áreas que foram acumuladas para cada microbacia.

Tabela 3.1 Esquema de acumulação de áreas para cada microbacia devido à drenagem

MICRO 01	MICRO 02	MICRO 03	MICRO 04			
MICRO 02	MICRO 03	MICRO 04				
MICRO 03	MICRO 04					
MICRO 04						
MICRO 05						
MICRO 06	MICRO 07	MICRO 08	MICRO 09	MICRO 10	MICRO 11	MICRO 12
MICRO 07	MICRO 08	MICRO 09	MICRO 10	MICRO 11	MICRO 12	
MICRO 08	MICRO 09	MICRO 10	MICRO 11	MICRO 12		
MICRO 09	MICRO 10	MICRO 11	MICRO 12			
MICRO 10	MICRO 11	MICRO 12				
MICRO 11	MICRO 12					
MICRO 12						

Portanto a Microbacia 01 também sofre influência das Microbacias 02, 03 e 04, por estarem sob o mesmo curso hídrico, o Arroio Olaria, se tratando então da mesma rede de drenagem. Por esse motivo que uma análise cumulativa torna-se interessante, pois os pontos analisados podem sofrer influência de sua rede de drenagem.

3.5 Processamento

O processamento das informações limnológicas integradas e relacionadas aos objetos espaciais, bem como o processamento das imagens do satélite Landsat 5 e CBERS 2B, foram feitas por meio do software Spring versão 5.1.5.

3.5.1 Criação do banco de dados

O banco de dados foi estruturado de forma a conter vários projetos, para facilitar a manipulação das informações, pois melhora a organização operacional. Foram criados os projetos: 1. Registro; 2. Carta; 3.SRTM; 4. Classificação; e 5. SIG.

1. O projeto Registro, foi destinado apenas ao registro das imagens dos satélites Landsat 5 e CBERS 2B e a aplicação de análises de componentes principais, para as imagens do Landsat 5. Para o registro das imagens foi utilizado o mosaico da Nasa (Geocover) (NASA, 2011). Foram registradas as imagens de janeiro de 1991 e 2011, setembro, outubro e novembro de 2010 e 2011 do satélite Landsat 5 e a de 03 de janeiro de 2010 referente ao satélite CBERS 2B. Para este projeto se utilizou a projeção UTM e o datum WGS84;

2. O projeto Carta, foi destinado a visualização das curvas de níveis em comparação as isolinhas obtidas por meio do SRTM, foram registradas as cartas de Itaquí e Tupará, com a projeção UTM e datum Córrego Alegre;

3. O projeto SRTM foi utilizado para o processamento das informações SRTM. A partir desse projeto foram elaborados mapas de declividade, hipsometria, rede de drenagem e a delimitação da área de estudo e das microbacias. A projeção usada foi a Latlong e datum WGS84;

4. O projeto de Classificação teve como objetivo classificar as imagens após a aplicação da análise de componentes principais. Foram classificadas as imagens de janeiro de 1991 e 2011, e utilizou-se a projeção UTM e datum WGS84;

5. O projeto SIG foi destinado a criação do banco de dados geo-relacional, onde se inseriu todos os dados das análises físicoquímicas e microbiológicas. Esses dados foram inseridos em forma de tabelas na categoria cadastral.

3.5.2 Elaboração de mapas

Todos os mapas apresentados na presente dissertação foram elaborados a partir do aplicativo Spring, para a finalização das cartas se utilizou o aplicativo Scarta que esta incluído no pacote do Spring. O Scarta é um aplicativo destinado a elaboração final dos mapas, onde são inseridos os títulos, legendas e símbolos. O Scarta trabalha diretamente

com o banco de dados e os projetos do Spring, facilitando os processos de modificação dos mapas para correção, otimizando ou padronização dos mesmos.

3.5.2.1 SRTM

Para o processamento de dados SRTM foi adquirida a imagem SH-21-X-C no site da Embrapa < <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/rs/sh-21-x-c.htm>>. A imagem obtida vem em formato Tiff/Geotiff e já esta georreferenciada, não havendo, portanto a necessidade de registro.

Os mapas de declividade, hipsometria, rede de drenagem e delimitação da área de estudo e das microbacias foram elaborado a partir da imagem SRTM. Para os mapas de declividade e hipsometria foram feitos os seguintes procedimentos: a) Após a imagem ser importada para o projeto SRTM se criou Modelo de Dados "MNT"; b) a partir desse modelo foram geradas as grades; c) posteriormente criou-se um Modelo de Dados "Temático"; d) e se definiu os intervalos das classes; e) procedeu-se o fatiamento.

Para o mapa de declividade foram definidos os intervalos de 0 a 12% de declividade, e para o mapa de hipsometria os intervalos de 30 a 110 metros, esses intervalos foram definidos a partir da análise geoestatística exploratória da imagem, obtida por meio do menu "Análise" no Spring.

O mapa de rede de drenagem foi obtido de forma automática no SPRING. Para a extração das informações de drenagem presente na imagem SRTM, se gerou uma imagem da rede de drenagem a partir de um Modelo de Dados "MNT", onde se utilizou a grade de altimetria para se executar o processo de "Rede de Drenagem" presente no menu do "MNT" do Spring, com um limite de saída de 1.

A delimitação da área de estudo, das microbacias e da hidrografia foi obtido tomando como base o mapa de rede de drenagem e a imagem SRTM.

3.5.2.2 Uso do solo

Para a elaboração dos mapas de uso do solo utilizou-se da classificação supervisionada por regiões e a edição vetorial. Foram classificadas duas imagens do satélite Landsat 5: a correspondente ao dia 25 de janeiro de 2011, referente a órbita 225,

ponto 80 e a imagem correspondente ao dia 27 de janeiro de 1991, referente a órbita 224, ponto 80, também foi classificada uma imagem do satélite CBERS 2B, referente a órbita 133 no ponto 163D do dia 03 de janeiro de 2010.

A classificação supervisionada por regiões e a edição vetorial foi feita com as imagens após a Análise de Componentes Principais (ACP). Para análise de componentes principais utilizou-se a composição das bandas 5,4,3 em RGB. A Figura 3.17 mostra a diferença entre a composição das bandas 5,4,3 em RGB antes e depois da aplicação da ACP.

A classificação supervisionada foi feita somente para as imagens do satélite Landsat 5. Antes de criar as amostras para a classificação supervisionada das imagens é necessário a segmentação da imagem, ou seja, a criação das regiões. Para a segmentação das imagens se utilizou o método de "crescimento por regiões", onde se atribuiu valores de 15 para similaridade e 30 para a área do pixel.

O tipo de classificação utilizado foi "Bhattacharya" com limiar de aceitação de 95%. Após a classificação da imagem se criou um mapa temático da imagem classificada, para isso se transformou a imagem matricial em um mapa temático vetorial. As classes criadas foram lavoura de arroz, campo nativo, vegetação ciliar, área urbana, área de pousio e hidrografia.

A classificação do uso do solo por meio da edição vetorial foi feita utilizando a imagem do satélite CBERS 2B. Para esta classificação foram criadas sete classes de uso do solo, lavoura de arroz, campo nativo, vegetação ciliar, vegetação arbustiva, área urbana, área industrial e hidrografia. Essas classes foram identificadas na imagem e posteriormente desenhadas na forma de vetor.

As classes de uso do solo para as imagens processadas do sensor TM não levaram em conta a vegetação arbustiva e a área industrial, pelo fato deste sensor ter uma resolução espacial de 30 metros e essas áreas serem de difícil identificação nesta resolução moderada. Por esse motivo que as imagens do sensor HRC, que possui resolução espacial de 2,5 metros, foram utilizadas para correlacionar o uso do solo com as análises da qualidade da água, pois assim foi possível identificar com precisão as áreas de vegetação arbustiva e as áreas industriais.

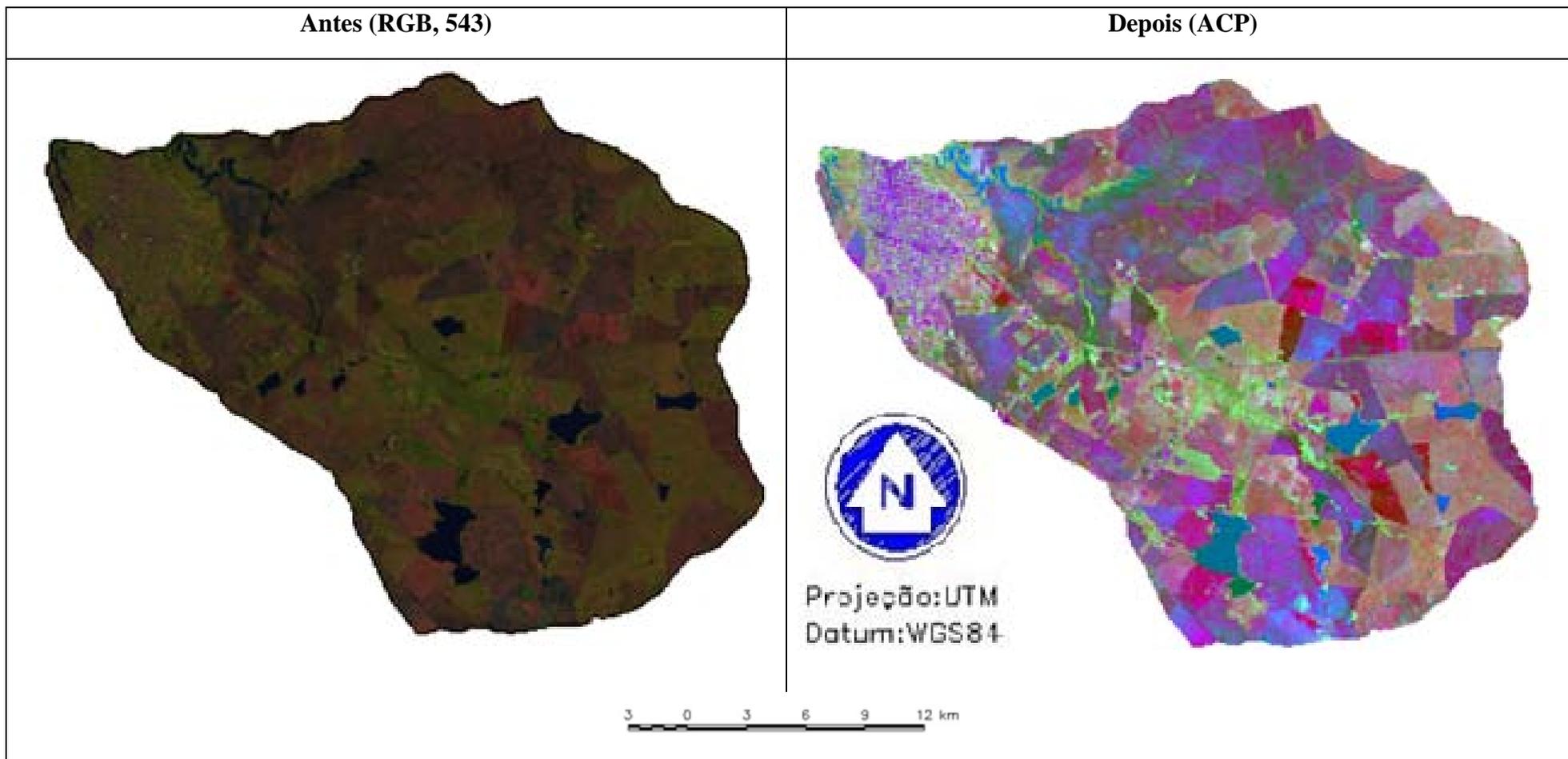


Figura 3.17 Imagem do satélite Landsat 5 das bandas 5,4,3 na composição RGB, antes e após o processamento por meio de análise de componentes principais, nas microbacias sob estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando uma visão geral do trabalho, a construção de um banco de dados associado a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), conseguida por meio do uso do software Spring do INPE, de uso livre, permitiu analisar as relações entre variáveis de uso e ocupação do solo e limnológicas de forma consistente e eficaz, fornecendo uma ferramenta poderosa de gestão da informação disponível, num ambiente único.

A divisão da informação em projetos independentes foi conveniente e necessária para permitir o uso do banco de dados criado em computadores pessoais com memórias RAM de 2 a 6 GB, configurações comuns na data de realização deste trabalho; e também para administrar as diferenças em sistemas de projeção e modelos da terra utilizados nas fontes de informação, como as cartas topográficas e as imagens de satélites.

Foi constatado que um aspecto especialmente delicado na criação do banco de dados é a realização de georreferenciamento (registro) cuidadoso das camadas de informação, permitindo assim coincidência espacial compatível com o trabalho a ser realizado. Geralmente se obteve uma incerteza menor a 1 pixel. Não resulta suficiente, por exemplo, o registro original das imagens de satélite, que já vem em formato geotiff.

A capacidade de edição vetorial do Spring mostrou-se como plenamente adequada às necessidades deste trabalho, permitindo desenhar limites de regiões de interesse, redes de drenagem e de transporte, pontos de importância especial, e outras feições que fosse conveniente dispor em camadas de informação independentes. No entanto, é verdade que foi necessário vencer algumas pequenas barreiras impostas pela lógica de uso do Spring, bastante direcionado para usuários com certo conhecimento da estrutura internade funcionamento do software.

Com relação às imagens de satélite, as provindas do sensor TM do satélite Landsat 5, lamentavelmente fora de funcionamento na atualidade, resultaram adequadas para caracterização do uso do solo, com resolução espacial de 30 m. Para isso foi valioso o procedimento de “análise de componentes principais”, disponível no Spring, e posterior “classificação”. A disponibilidade de imagens gratuitas do sensorHRC do

satélite CBERS 2B permitiu trabalhar com imagens de maior resolução espacial (2,5 m), facilitando a análise de detalhes não observados nas imagens do Landsat 5.

Também é importante salientar a relevância das imagens de radar da missão SRTM, obtidas gratuitamente do site da EMBRAPA (ver seção de metodologia), que permitem prontamente a criação de modelos digitais do terreno, fornecendo as bases para estudos de relevo.

Com relação aos dados limnológicos, a possibilidade de inclusão de tabelas com os valores dos mesmos, permite um patamar de organização das informações superior ao uso de tabelas isoladas, criando as bases para a realização de mapas temáticos que transmitam visualmente as informações numéricas obtidas. No entanto, procedimentos estatísticos como as análises de correlação são convenientemente realizados em planilhas eletrônicas independentes.

Com relação a resultados mais específicos, os mesmos serão apresentados nas seções seguintes em quatro partes principais: 1) Caracterização da área de estudo; 2) Uso do solo; 3) Resultados da integração de dados limnológicos e Sistemas de Informação Geográfica; e 4) Resultados da integração de dados limnológicos e Sensoriamento Remoto.

4.1 Caracterização da área de estudo

Para caracterização da área de estudo, foi criado um banco de dados no Spring, conforme explicado na metodologia. A introdução e registro no mesmo das Cartas Topográficas na escala 1/25000, permitiu a identificação dos nomes oficiais de corpos de água e localidades, assim como de algumas cotas topográficas de referência. No entanto, as isolinhas correspondentes ao recorte das imagens SRTM da região do projeto foram a base para a delimitação da área de estudo, baseada na identificação de microbacias, conforme explicado na seção de metodologia. Na Figura 4.1 pode-se observar os resultados da edição vetorial das informações mencionadas no Spring, posteriormente transformadas em mapa pelo aplicativo Scarta do mesmo software. A área selecionada para este trabalho compreende microbacias de cursos hídricos tributários do Rio Uruguai: 1) Arroio Cambaí; 2) Arroio Chocolate; e 3) Sanga da Olaria. Esta área possui 5 Km² de superfície de lâmina d'água, 25 Km² de mata ciliar e

17Km² de áreas urbanizadas, possuindo uma área total de 168 Km², conforme analisado posteriormente na Tabela 4.2.

Pode-se observar que se trata de uma região privilegiada em termos de recursos hídricos, pois possui um rio de alta vazão, como o rio Uruguai, e afluentes bem ramificados. Cabe acrescentar que a região está sobre o Aquífero Guarani, que é o maior manancial de água doce transfronteiriço do mundo. Portanto, a área de estudo dispõe de quantidades abundantes de água, sejam através de barramentos, barragens artificiais, açudes naturais, rios, arroios, córregos ou águas subterrâneas, que podem ser utilizadas para diversos fins, como para a dessedentação de animais, dos rebanhos bovinos, que são característicos da região, além da utilização para a agricultura, especificamente arroz irrigado, que se constituiu no cerne da economia regional.

A integração das atividades urbanas com as atividades agropecuárias do meio rural é outra característica notória dessas microbacias, que é explicada pela proximidade de recursos naturais favoráveis à agricultura próximos à área urbana. Observe-se que a cidade está praticamente cercada por água, com o rio Uruguai ao norte, a sanga Olaria ao oeste, e o arroio Cambaí ao leste. Posteriormente observa-se, no estudo morfométrico, que a região possui um relevo plano a suave-ondulado.

Também é apresentado o mapa de classes de solos (Figura 4.2), que corresponde à edição vetorial das informações do projeto RADAM Brasil. O solo predominante é da classe Luvisolos (79%), seguido pelo Planossolo (8%), Cambissolo (7%), sendo o restante (6%) correspondente a áreas urbanas junto com afloramentos rochosos, o que pode ser observado na Figura 4.2. No entanto, devemos levar em consideração que esta figura corresponde à edição vetorial das informações do projeto RADAM Brasil, do IBGE, cuja amostragem de solos para a região sul teve uma escala aproximada de 1 amostra/100.000 ha (RIOS et al., 2008). Tendo em conta que a área de estudo tem 16800 ha, podemos deduzir que é provável que o projeto RADAM Brasil não realizou nenhuma amostragem dentro da área de estudo; porém, trata-se da informação oficial disponível, que, uma vez incluída no banco de dados, pode ser progressivamente aprimorada conforme dados locais ou de outros estudos.

Os fatores observados, unidos ao clima predominantemente subtropical, com grandes variações térmicas (IBGE, 1986), contribuem a entender a economia baseada na pecuária extensiva, a criação de suínos em granjas tecnificadas, a produção de arroz irrigado e o beneficiamento do mesmo em instalações industriais, que compõem os principais arranjos produtivos dessa região.

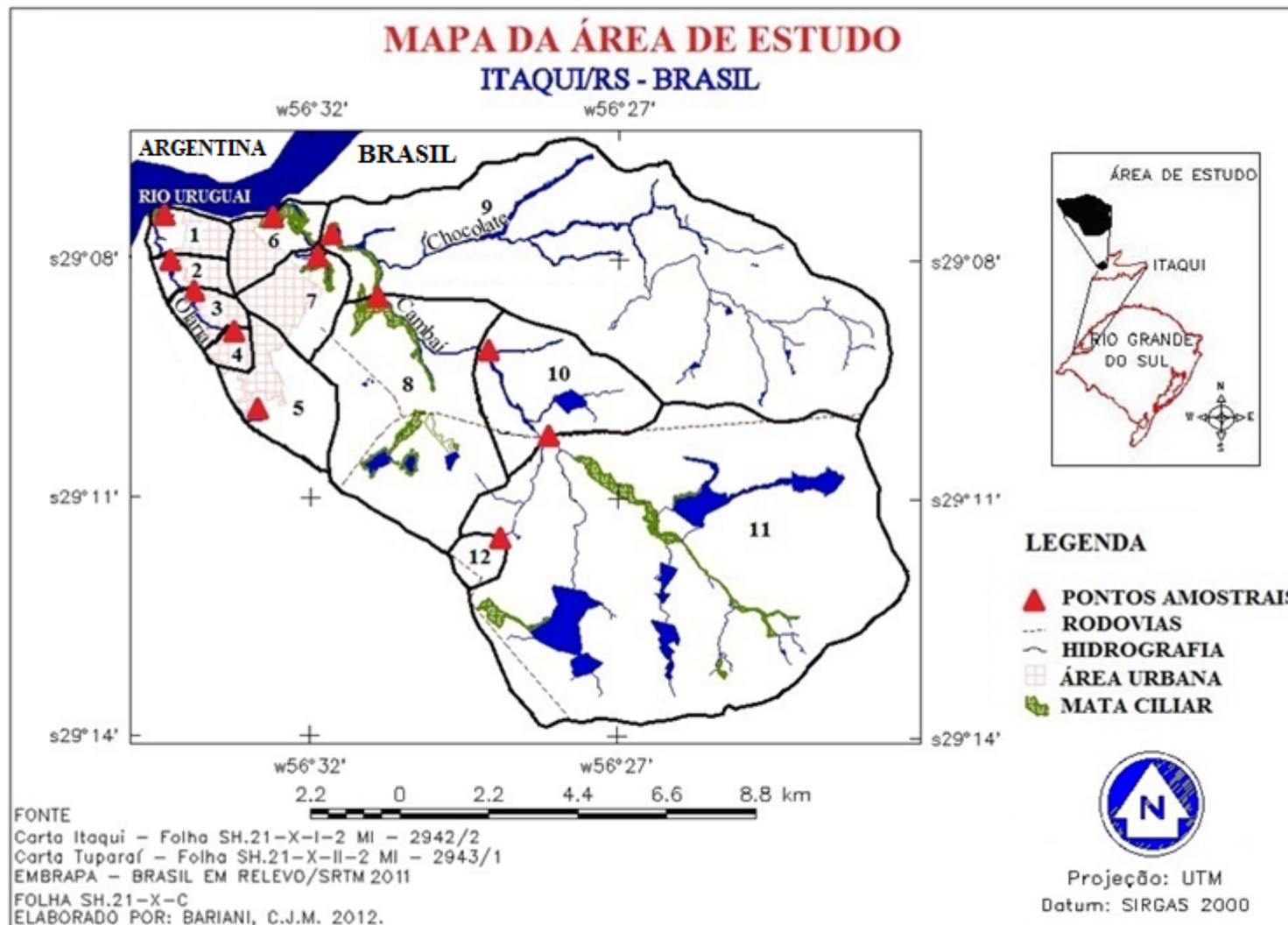


Figura 4.1 Mapa de caracterização da área de estudo.

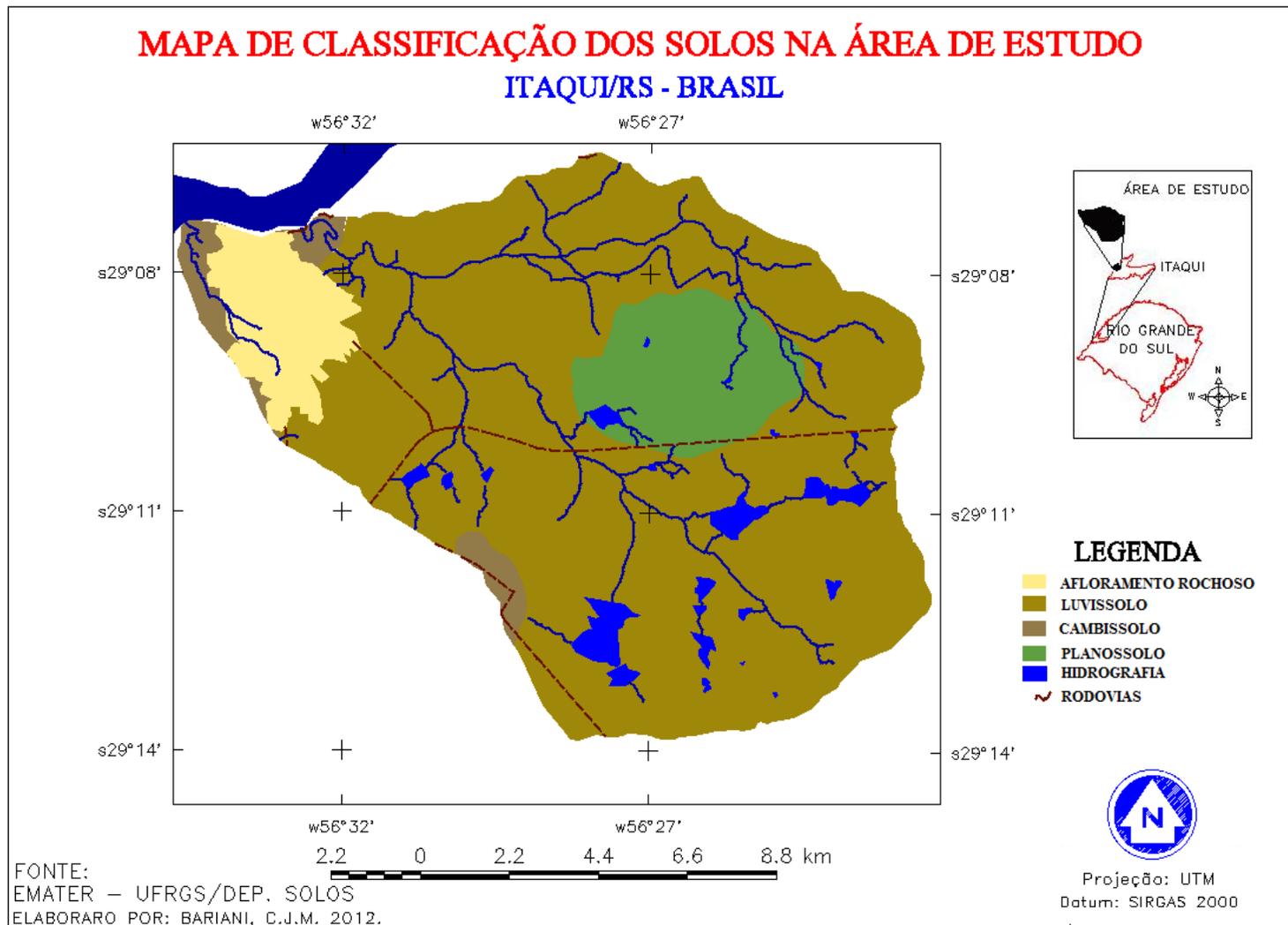


Figura 4.2. Mapa de classificação dos solos da área de estudo.

4.1.1 Efeito das cotas do rio Uruguai

As cotas do rio Uruguai tem influência direta sobre a população ribeirinha, além de influenciar na fauna e flora local e na qualidade da água em seus cursos hídricos tributários.

Dentro da área de estudo existe uma estação de monitoramento da Agência Nacional de Águas, operada pela CPRM, conforme a Tabela 4.1. Isto permite a obtenção dos dados de cotas e vazões, disponíveis no site da ANA (<http://hidroweb.ana.gov.br/>).

Tabela 4.1 Estações de monitoramento disponíveis

Código	Nome	Sub-bacia	Rio	Estado	Município	Responsável	Operadora
75900000	Itaqui	75	Uruguai	RS	Itaqui	ANA	CPRM
75900001	Itaqui	75	Uruguai	RS	Itaqui	ELETROSUL	ELETROSUL

Utilizando os dados disponíveis de vazão média e cota média mensal correspondente a 2011, podemos obter a curva chave para o posto de Itaqui, que resulta ser fortemente linear, provavelmente devido a ser um ponto de estreitamento do rio, com profundidade máxima na região, e seção aproximadamente trapezoidal. Vemos então que cota e vazão são diretamente proporcionais (Figura 4.3), podendo assim serem usadas de forma indistinta para discussão de efeitos de diluição, por exemplo.

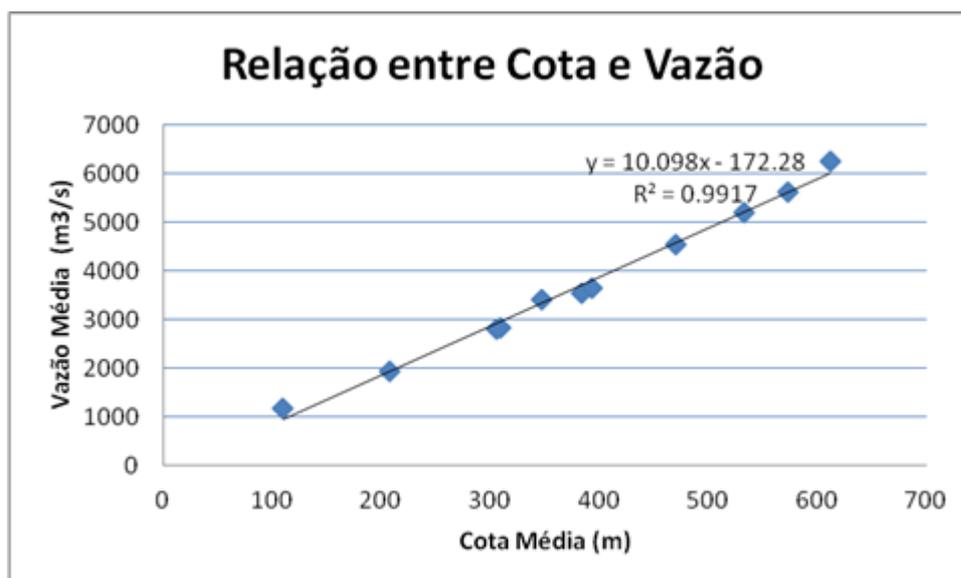


Figura 4.3 Relação entre Cota e Vazão do Rio Uruguai no posto 75900000, Porto de Itaqui

Outra fonte de informação importante sobre as cotas são as imagens de satélite. A variação das cotas não segue um padrão constante todo ano, porém por meio do histórico das imagens do satélite Landsat 5, de 1984 a 2011, para as órbitas 224 e 225 no ponto 80, foi possível perceber que as cotas de inundação ocorrem principalmente nos meses de setembro e outubro.

Como a maioria dos habitantes das ribeiras são pescadores, os mesmos não conseguem viver longe do seu local de trabalho, o rio Uruguai. Por esse motivo essa população vive em casas rolantes, casas que podem ser facilmente transportadas por tratores.

De modo geral a sociedade e o meio ambiente são afetados pelas variações das cotas. A vegetação assim como a fauna terrestre e aquática são afetadas pela variação das cotas, além da qualidade da água, pois em épocas de seca a concentração de poluentes provindos do meio terrestre, urbano ou rural, afeta diretamente as características físicoquímicas e microbiológicas da água. Deixando a água muitas vezes com odor e gosto indesejável, além de diminuição dos estoques pesqueiros, por maior competição da fauna aquática, por alimento e espaço.

Portanto, as cotas possuem um papel fundamental para a análise das condições do meio aquático e terrestre. A seguir, na Figura 4.4, é apresentado um gráfico da variação das cotas médias mensais para os meses de setembro, outubro e novembro de ano de 2011, onde é possível perceber que as cotas vão diminuindo gradativamente de setembro para novembro. Espera-se, então, um menor efeito diluidor produzido pela vazão do rio Uruguai no mês de novembro.

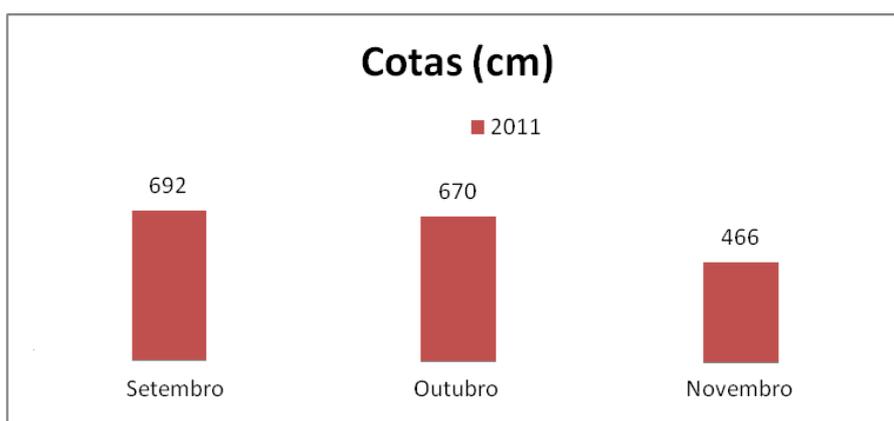


Figura 4.4 Gráfico das cotas registradas para os meses de setembro, outubro e novembro do ano de 2011.

4.1.2 Medidas pluviométricas

O impacto da gota da chuva é um agente transportador de partículas do meio terrestre para o aquático, pois por meio do escoamento superficial, os elementos presentes no solo, como a matéria orgânica, os sedimentos, os nutrientes, os pesticidas e lixos sólidos, como garrafas pet, sacolas plásticas, papeis, entre outros, acabam carregando estes elementos para as partes mais baixas. Esse fenômeno pode provocar assoreamento nos rios, enchentes em épocas de maior precipitação, vazões reduzidas na época de seca, além de poluir os córregos e rios.

Na Figura 4.5 é apresentado o gráfico de pluviometria para os meses de setembro, outubro e novembro de 2011. A região sob estudo apresenta pluviometria variada, onde no mês de outubro foi registrada a maior precipitação. Isto pode eventualmente ser um fator a levar em conta para explicar valores mais elevados de sedimentos e solutos na água.

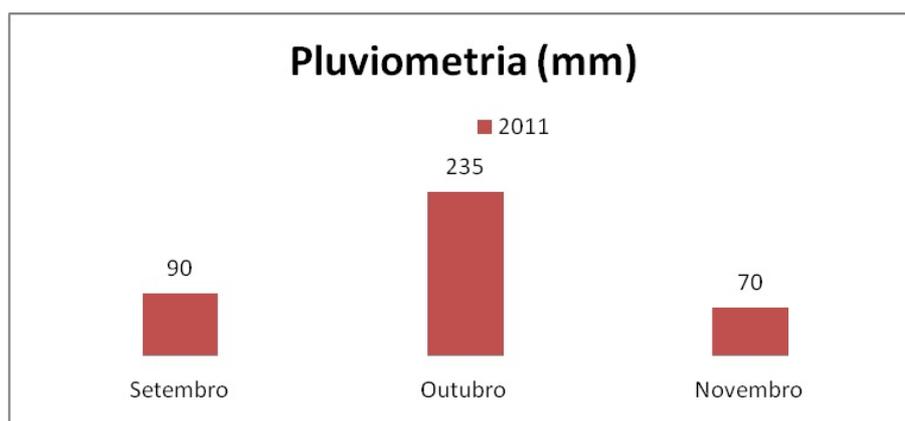


Figura 4.5 Gráfico de precipitação registradas para os meses de setembro, outubro e novembro do ano de 2011.

4.1.3 Relevo

O relevo é fundamental para estudos do ambiente. A hipsometria, a declividade e a rede de drenagem são características de extrema importância para o planejamento tanto na área urbana como para as atividades agropecuárias. Na área urbana o relevo é capaz de identificar áreas de potencial fragilidade e, conseqüentemente, áreas de risco. No meio rural é possível planejar e organizar as atividades agropecuárias de modo a otimizar os recursos naturais e adequar os sistemas de produção. Por meio de dados

SRTM foi possível identificar áreas susceptíveis a alagamentos e erosões, o que pode acarretar em danos materiais e prejudicar a vida e a fauna da região.

4.1.3.1 Hipsometria e Declividade

A hipsometria, neste trabalho, consiste na determinação da altitude de pontos situados sobre um plano de referência correspondente ao elipsóide do modelo WGS84, adotado como referência pela missão SRTM (FARR, 2007).

As alturas correspondentes à imagem aparecem como tonalidades de cinza diferenciadas, que podem ser agrupadas em fatias e transformadas em cores de um mapa temático utilizando o aplicativo Spring, como explicado na seção de metodologias. O resultado aparece na Figura 4.6. nos revelando um aspecto interessante referente a localização da área urbana do município que esta situada em uma faixa de 70 a 90 metros de altitude, ficando rodeada por cotas de 30 a 70 metros. Esse fato demonstra que a rede de esgoto e pluvial da cidade interage fortemente com as águas do rio Uruguai a partir de uma cota próxima aos 70 m, ao ponto que a cidade poderia ficar ilhada se houvesse uma cheia no rio Uruguai que superasse essa cota. Ainda estas características exigem cuidadosa planificação da rede de esgoto e de distribuição de água, e devem ser levadas em consideração para planificar o crescimento e a expansão da área urbana.

A partir da grade de hipsometria, foi gerada uma grade de declividade, que revela a inclinação do terreno na região. Na Figura 4.7 é possível visualizar que a maior parte das regiões sob estudo apresenta declividade, entre 0 a 3%, que segundo a classificação da EMBRAPA (1999) refere-se a áreas planas.

Como a cidade de Itaqui não possui, até o momento, sistema de tratamento de esgoto, é fácil deduzir que a totalidade dos esgotos domésticos vai parar nos córregos ao redor da cidade, principalmente na sanga Olaria, no limite oeste. O arroio Cambaí também deve receber uma fração, porém menor, de esgotos da área mais alta da cidade, próxima ao limite leste da mesma.

Os resultados de declividade e hipsometria confirmam o potencial agropecuário da região em estudo, ao ponto que a agricultura e também a criação de bovinos acontece intensamente nas microbacias urbanas, pois o solo plano é extremamente favorável para a entrada de máquinas agrícolas no preparo do solo, semeadura e colheita mecanizada, além de diminuir os gastos de calorías pelo rebanho bovino, facilitando seu aumento

de peso e conseqüentemente a melhoria dos índices reprodutivos e diminuição da idade de abate. A baixa declividade também favorece a irrigação das lavouras de arroz pelo sistema de cultivo em taipas, onde a água é bombeada para patamares mais altos e escoada por gravidade (SOSBAI, 2010), tendo drenagens nos cursos de água, que podem assim receber carga de solutos e eventuais sedimentos.

Por estes motivos, os cursos de água pertencentes à área sob estudo recebem influência importante das lavouras de arroz e das áreas de campo dedicadas à pecuária.

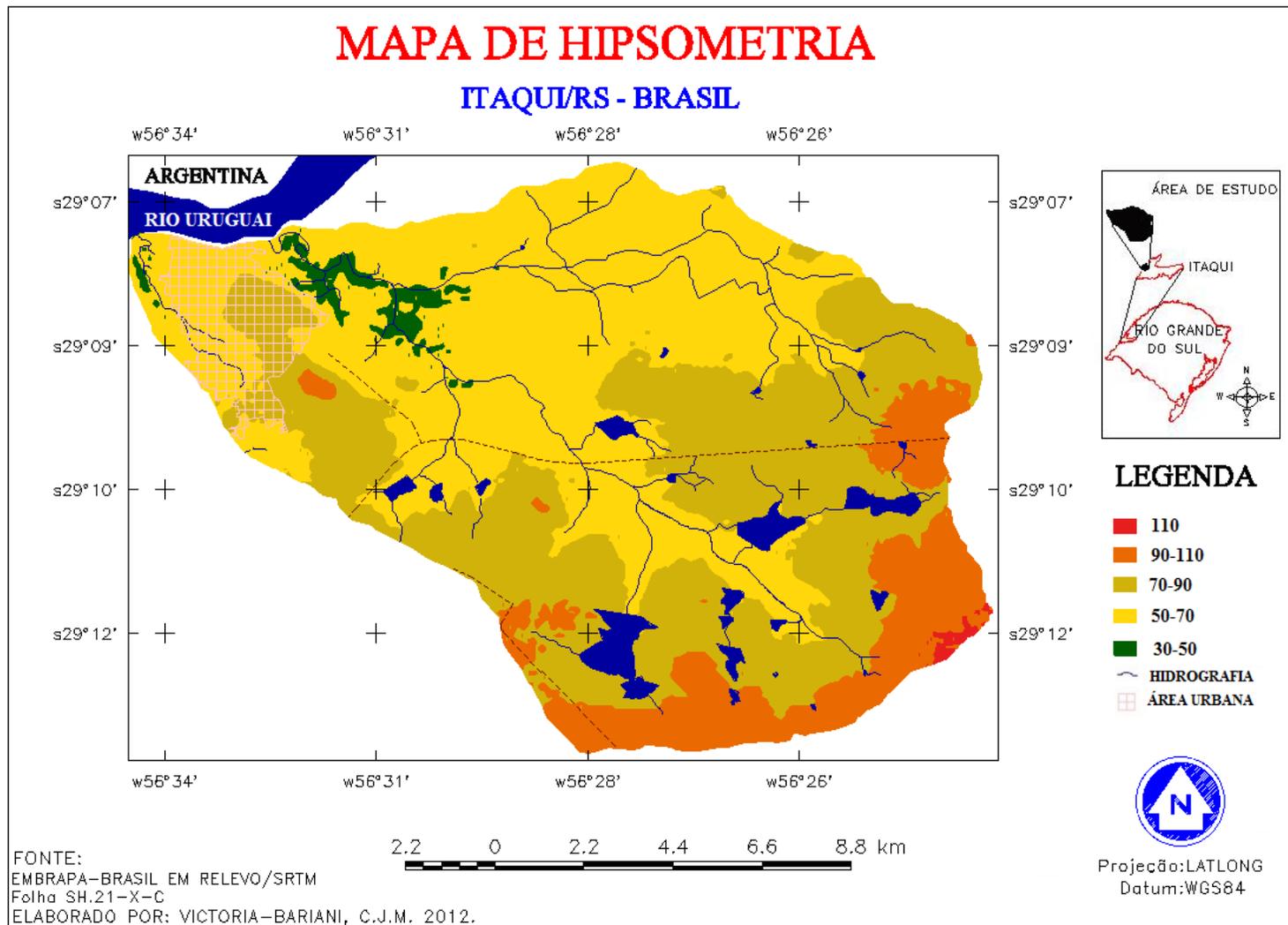


Figura 4.6 Mapa de hipsometria.

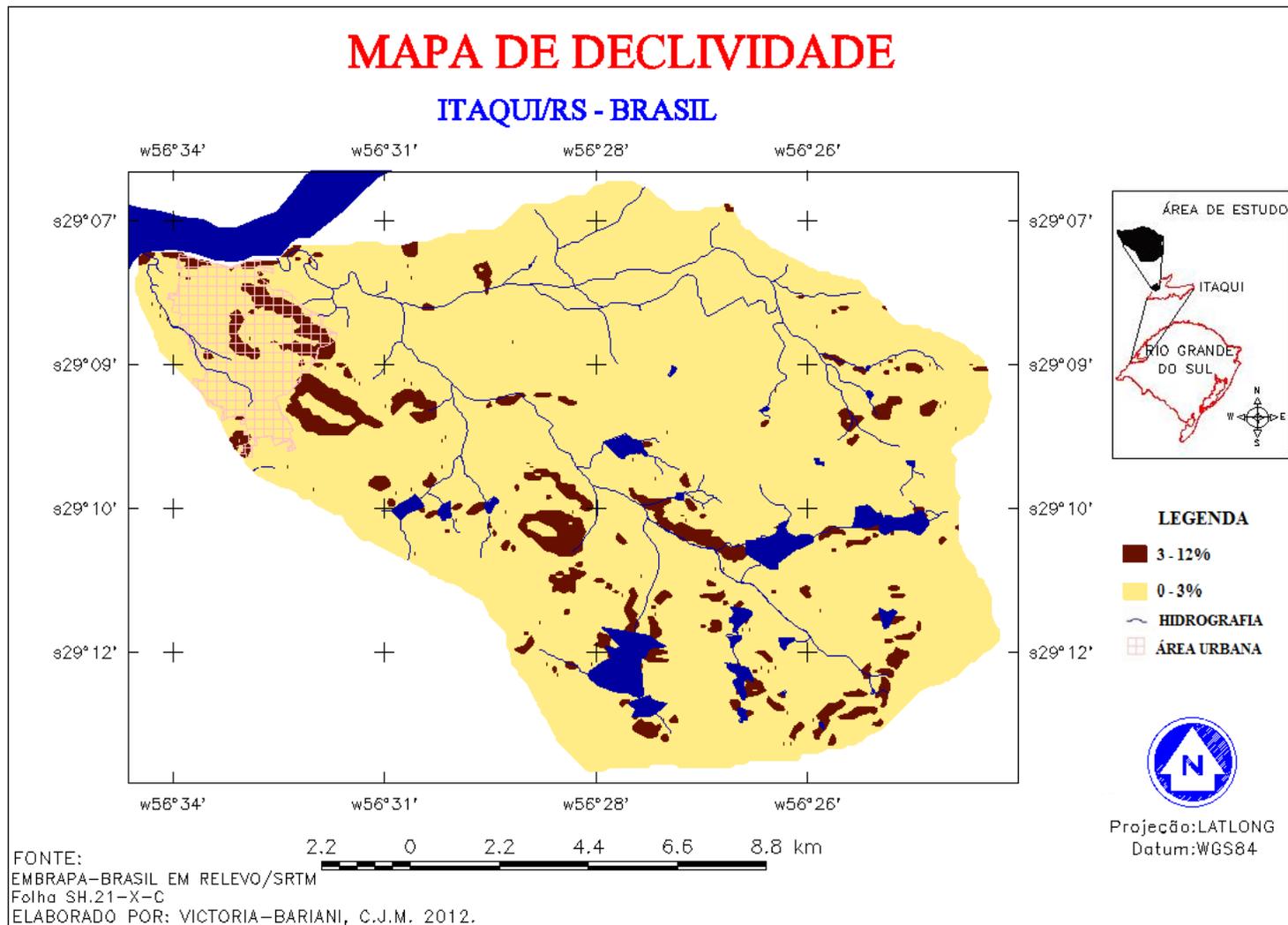


Figura 4.7 Mapa declividade

4.1.3.2 Rede de Drenagem

Por meio de dados SRTM foi possível delimitar as microbacias existentes na área de estudo, para o qual foi necessário identificar os divisores de águas, as regiões mais altas do relevo. Isso pode ser realizado por meio de um traço perpendicular às cotas, que atravesse os círculos das isolinhas das cotas mais altas. Para completar o delineamento das microbacias se faz necessária a elaboração de um mapa da rede de drenagem, para o qual o Spring utiliza um algoritmo de reconhecimento das características de declividade de cada pixel, selecionando aqueles que são candidatos a formar a rede de drenagem.

Na Figura 4.8 é apresentado o resultado da aplicação do algoritmo e posterior edição vetorial. Foi perceptível observar que a rede de drenagem possuía algumas incoerências, quando se utilizou apenas do procedimento automático, por exemplo, o Arroio Chocolate e o Arroio Cambaí apresentam um maior número de efluentes que os produzidos neste procedimento. Este fato ocorre porque segundo Valeriano (2008), espera-se que os vetores de drenagens constituam redes, porém nem sempre isso acontece. Cabe então ao operador a pronta interpretação da provável rede e sua digitalização em vetor. Valeriano coloca ainda que a fotoleitura das feições e o desenho final dos vetores devem ser feitos pelo intérprete, onde esses deverão ser coerentes e funcionais. Aplicando estas ideias foi possível construir a rede de drenagem que mostra o caminho natural ditado pelo relevo.

Por outro lado, as imagens de satélites e o reconhecimento das regiões a campo permitiram completar o traçado da rede hidrográfica. Assim foram delimitadas as doze microbacias (Figura 4.8) correspondentes aos doze pontos amostrados nos cursos hídricos, afluentes do rio Uruguai, são eles: 1. Arroio Chocolate; 2. Arroio Cambaí; e 3. Arroio Olaria. Também observasse na Figura 4.8 a hierarquia fluvial de cada microbacia.

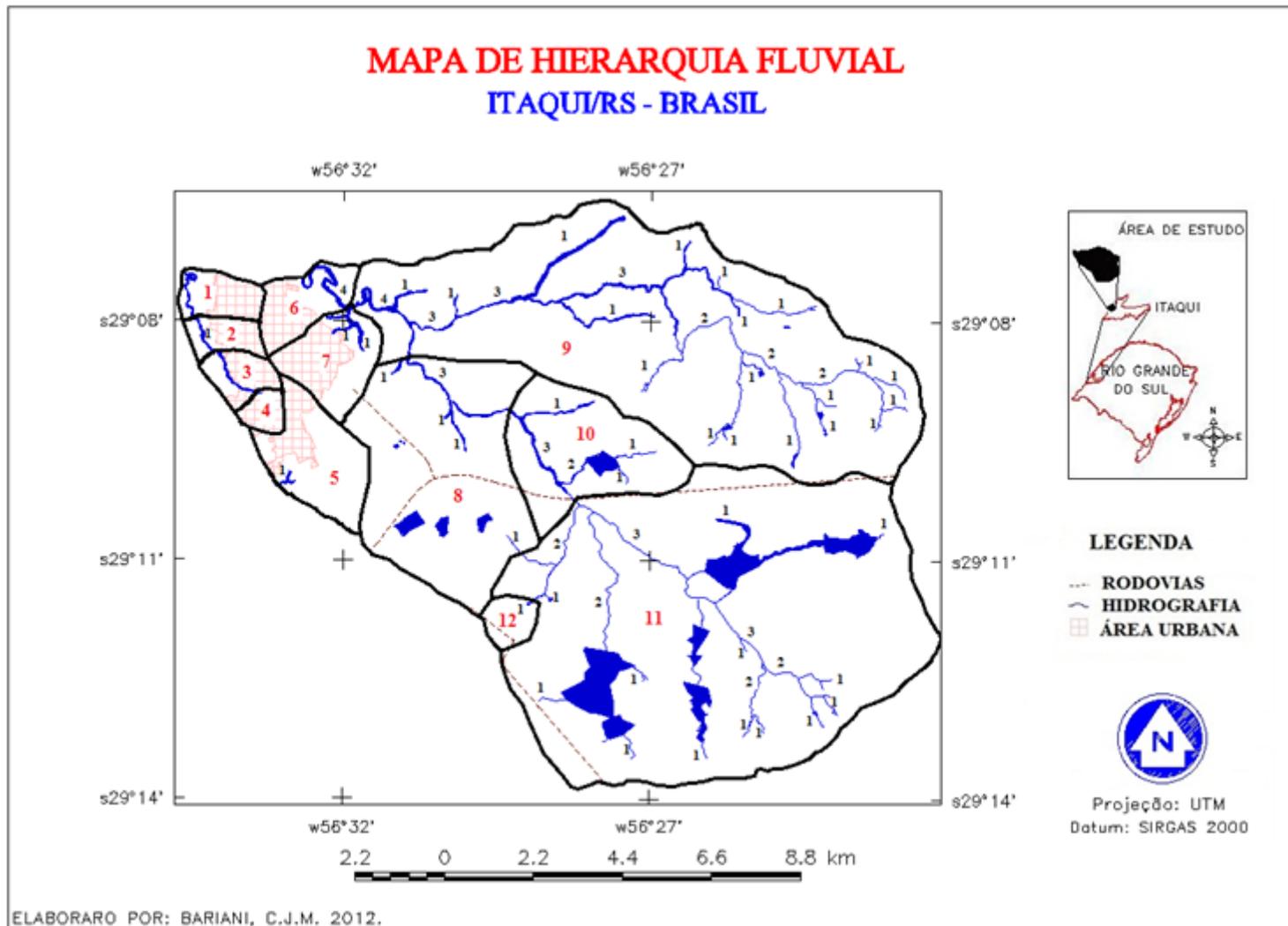


Figura 4.8 Mapa de hierarquia fluvial.

4.2 Uso do solo

Por meio de imagens gratuitas do sensor TM do satélite Landsat 5, processadas por técnicas de sensoriamento remoto foi possível criar os mapas que registram a situação de uso do solo na região na data de passagem do satélite. Cada pixel da imagem contém informações relacionadas com a posição do ponto e as características da radiação (refletância) dos alvos terrestres imageados pelo sensor. No entanto, a imagem bruta é de difícil interpretação para um usuário não especializado. Por esse motivo, foi aplicado o procedimento chamado "análise de componentes principais", que produz um "realce" das características de cada alvo, e posteriormente o procedimento de "classificação supervisionada por regiões", para transformar a imagem original em um mapa facilmente interpretável pela maioria dos usuários.

Além do potencial visual, o procedimento permite realizar apreciações numéricas do uso do solo na área de estudo, já que o programa emite um relatório com as áreas ocupadas por cada classe escolhida na classificação. Utilizando esta potencialidade, foi realizada uma comparação entre os resultados de uso do solo obtidos das imagens dos anos de 1991 e 2011. Esses dados correspondem à safra de 1990 e 2010, e servem para proporcionar uma indicação das tendências acontecidas na região, o que exemplifica uma situação típica de obtenção de informação para a gestão do território. Na Figura 4.9 é possível visualizar o crescimento das áreas de lavouras para o período de 20 anos.

A área foi dividida em seis classes: a) lavouras de arroz; b) área de pousio; c) campo nativo; d) mata ciliar; e) área urbanizada; e f) corpos d'água. Pode-se observar o crescimento de três classes, lavouras de arroz, que teve um aumento de 17%, mata ciliares 5% e os cursos hídricos que tiveram um aumento de 1%. As outras classes tiveram um decréscimo, área de pousio 2%, campo nativo 20% e área urbana se manteve com 9% como mostra a Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Comparativos das classes analisadas entre 1990 a 2010.

	1991	2011	1991	2011	COMPARATIVO (2011-1991)	
	Km ²		%		Km ²	%
CORPOS D'ÁGUA	5	6	3	4	1	1
LAVOURA DE ARROZ	24	52	14	31	28	17
ÁREA URBANIZADA	15	15	9	9	0	0
ÁREA DE POUSIO	54	51	32	30	-3	-2
CAMPO NATIVO	53	19	32	11	-34	-20
MATA CILIAR	17	25	10	15	8	5
TOTAL	168	168	100	100		

Estas informações confirmam o fato de que a Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, em especial o município de Itaqui, onde se localiza a área de estudo, é caracterizada pelo cultivo de grandes áreas de arroz irrigado, que vem ganhando espaço de áreas de campo que eram típicas da pecuária. A posição das barragens e das lavouras mostra que a inundação ocorre a partir de patamares mais altos, sendo a água conduzida por gravidade, mantendo-se uma lâmina de água através de taipas construídas com diferença de nível. As curvas de nível correspondentes às taipas não aparecem nas imagens do sensor TM do satélite Landsat 5, mas podem facilmente ser visualizadas nas imagens de alta resolução disponíveis no SIG Google Earth, de uso livre. Estas características das lavouras de arroz da área de estudo - o uso de taipas, o sistema por gravidade, e a baixa declividade - observadas neste estudo, tem implicações na análise dos efeitos das mesmas sobre a qualidade da água. Das informações observadas podemos sugerir que, embora exista um sistema artificial de escoamento da água criado por bombeamento a regiões mais altas, o posterior retorno da mesma ao sistema hídrico acontece de forma controlada, com baixa velocidade controlada por taipas, o que pode favorecer a retenção de sedimentos e nutrientes dentro do sistema. Os pontos de coleta dentro do sistema hídrico permitem avaliar este mecanismo, e voltaremos à análise deste aspecto nas próximas seções.

Com relação à disponibilidade de recursos naturais, observa-se que os resultados indicam que não está acontecendo uma redução global da mata ciliar na área de estudo (com aumento de 8 Km² em 20 anos), como poderia talvez imaginar-se que aconteceria numa área de intensa atividade agrícola e urbana. Porém, isto não significa que não estejam acontecendo eventos localizados ou gerais que afetem a qualidade da mata da região.

Finalmente, as informações do mapa da Figura 4.9 podem contribuir significativamente para a interpretação dos resultados de análises físico-químicas e microbiológicas das águas superficiais integrantes de um sistema de monitoramento ambiental na região, porém neste trabalho será utilizada uma imagem com maior resolução espacial e o procedimento de edição vetorial, como será abordado na próxima seção.

Com relação às imagens, elas apresentam algum grau de incerteza que pode ser calculado por procedimentos de propagação de erros, mas que extrapolam os objetivos deste trabalho. Uma boa prática, que foi aqui aplicada, é que aquelas imagens tomadas como referência do banco de dados sejam processadas pelo mesmo operador para

manter um maior controle sobre os procedimentos realizados, diminuindo o erro aleatório e permitindo identificar mais facilmente erros sistemáticos. Os procedimentos de registro de imagens foram mantidos com incerteza menor a 1 pixel. Os procedimentos de classificação de imagens, por tratar-se de uma área pequena, foram cuidadosamente verificados e corrigidos por edição matricial, numa tentativa de manter a incerteza na avaliação de áreas menor a 1%.

HISTÓRICO DO USO DO SOLO EM 20 ANOS

JANEIRO 1991

JANEIRO 2011

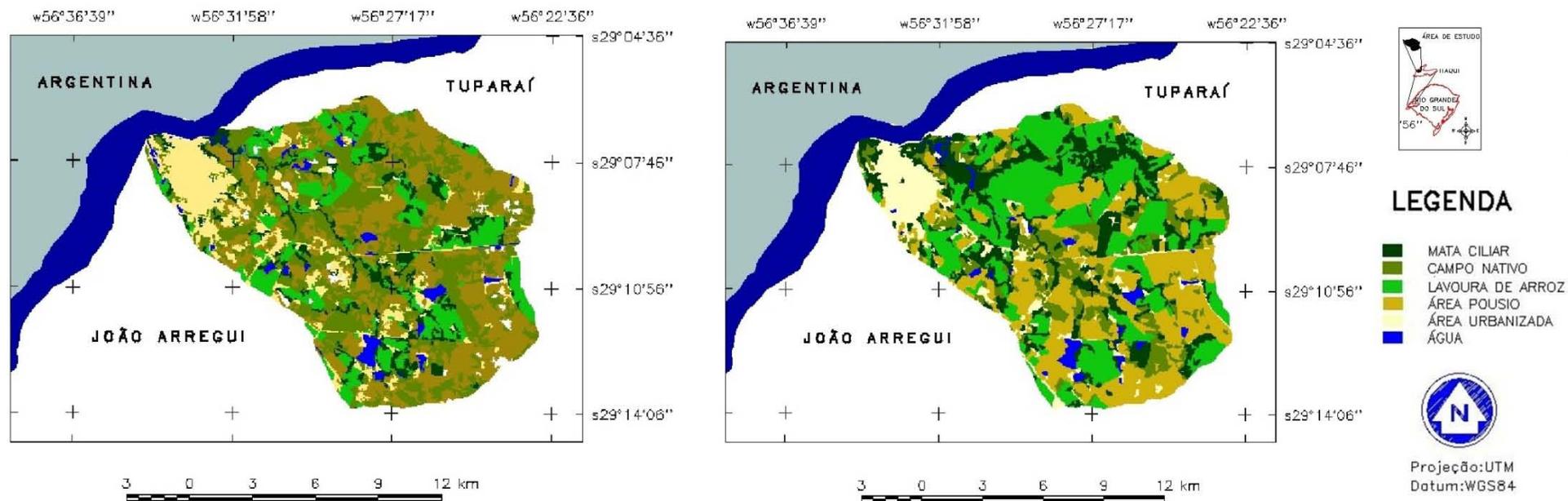


Figura 4.9 Uso do solo nos anos de 1991 e 2011.

4.3 Resultados da integração de dados limnológicos e Sistema de Informação Geográfica (SIG)

A integração dos dados limnológicos com produtos de sensoriamento remoto e a criação de um SIG e de um banco de dados relacional, possibilitou um maior entendimento dos efeitos das atividades antrópicas nos ecossistemas aquáticos analisados. A seguir são apresentados os resultados obtidos por meio das análises estatísticas, físico-químicas e microbiológicas da água, bem como um exemplo de utilização e consulta ao banco de dados relacional do Spring.

4.3.1 Banco de dados relacional

Os resultados das análises limnológicas integradas ao SIG possibilitou a criação de um banco de dados geo-relacional. Esse banco facilita a consulta e o entendimento da dinâmica da qualidade da água e identifica pontos potencialmente poluidores.

Na Figura 4.9 é mostrada a consulta a este banco de dados, onde temos a tabela com o nome de cada ponto e o valor de cada análise realizada. Basta clicar no ponto a ser analisado que o mesmo será selecionado em verde, ou se algum valor da tabela chamar a atenção basta clicar na linha correspondente na tabela e o ponto será localizado geograficamente no mapa ficando igualmente selecionado na cor verde. Esta consulta foi feita em cima do mapa de classificação do uso do solo, onde em amarelo estão selecionados os dados de Condutividade Elétrica para o mês de novembro de 2011.

Para consulta de variáveis que se queira estabelecer um padrão, por exemplo, consultar valores que não se enquadrem nos limites estabelecidos na legislação. No caso da Condutividade Elétrica os limites estabelecidos são de até 200 μS . Portanto basta selecionar a consulta por atributos no banco relacional, onde se deve indicar os parâmetros estabelecidos, como mostra a Figura 4.11.

Depois de aplicada a consulta percebe-se que para o mês de novembro de 2011 os pontos Acesso Sul, Camil, Esgoto Ciclovía, Hipódromo e Ponte Pitangueira obtiveram concentrações de Condutividade Elétrica acima de 200 μS (Figura 4.12). Esse tipo de consulta pode ser aplicada para todos os meses e para todas as variáveis. Assim é possível ter uma visualização integrada da situação na qual se

encontram os cursos hídricos da região. Os principais resultados obtidos pela realização da consulta ao banco de dados estão resumidos na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 Resultados de consultas ao Banco de Dados Relacional do Spring. Em vermelho os valores que superaram o limite permitido pela legislação, e cujas microbacias foram selecionadas na consulta.

MICROBACIAS							LIMITE PERMITIDO
	3	4	5	6	7	8	
CE	273.67	248.67	279.00	43.70	38.13	71.63	<100µS/cm
OD	4.53	3.43	2.60	6.60	3.73	7.63	>5.0 mg/l
pH	7.15	7.57	7.37	7.76	7.37	7.82	<7.5

Na realização de consultas ao Banco Relacional criado, considerando os limites estabelecidos na resolução nº 357/2005 da CONAMA, que são de 100 µS/cm para a condutividade, de 5 mg/l para a concentração de oxigênio dissolvido, e de 7,5 para o pH, podemos ver que a microbacia número 4 não cumpriu em nenhuma das categorias consideradas, revelando uma situação de impacto ambiental.

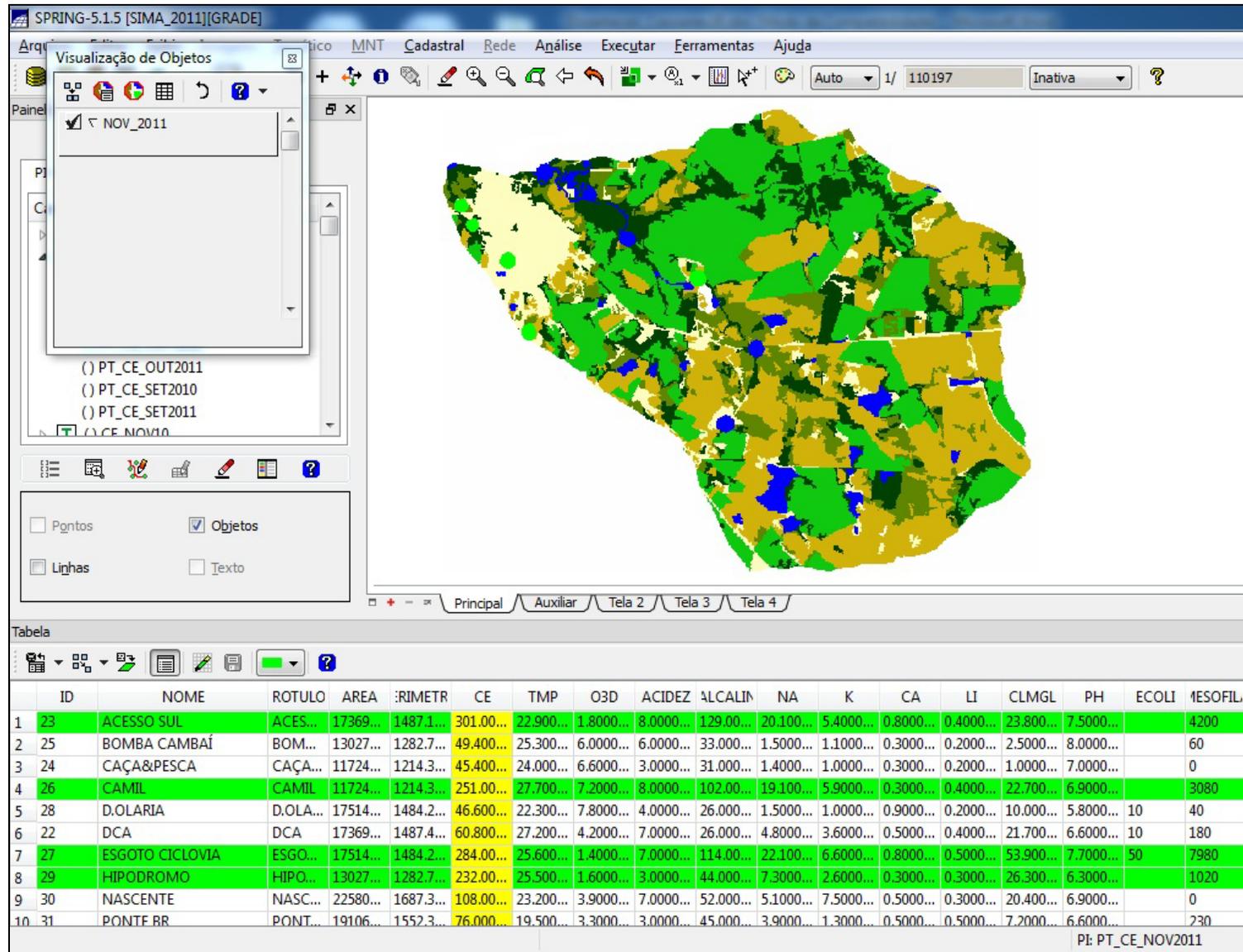


Figura 4.10 Consulta ao banco de dados geo-relacional - mapa de classificação do uso do solo em 2011.

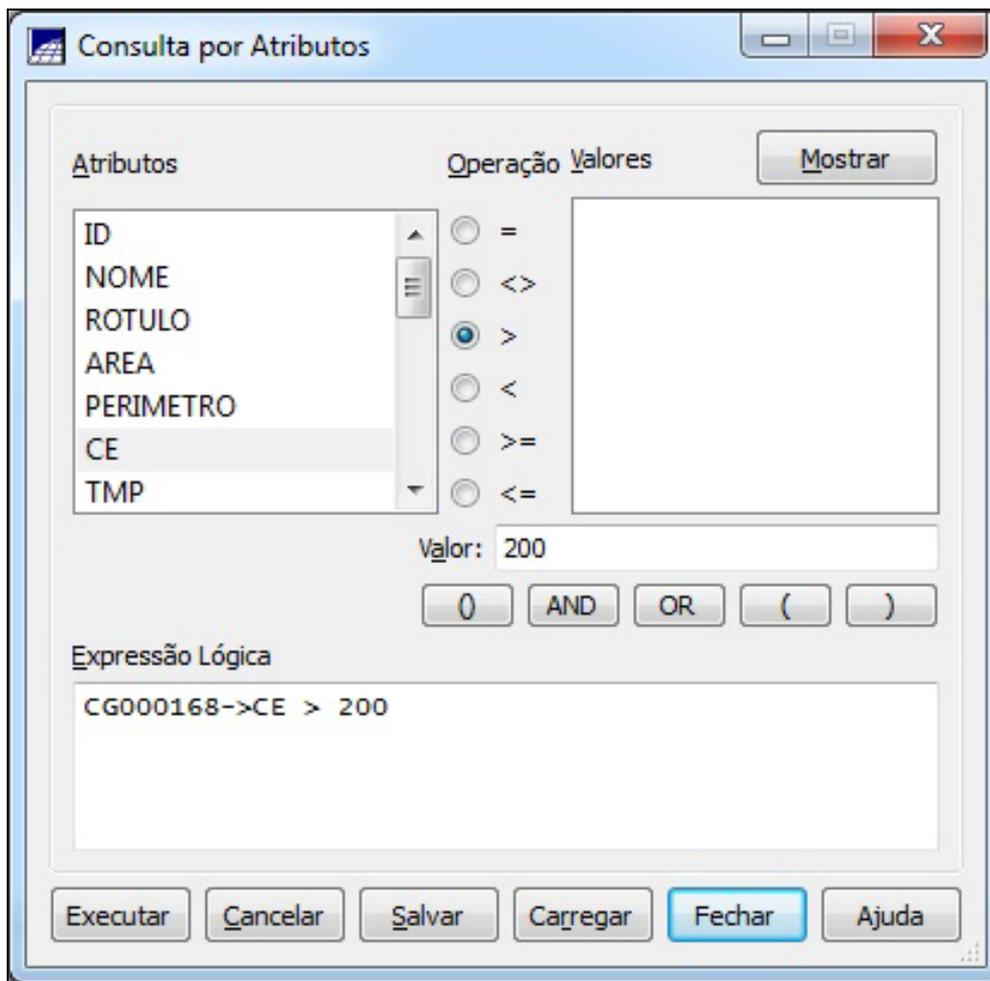


Figura 4.11 Consulta a atributos - Condutividade Elétrica acima de 200uS.

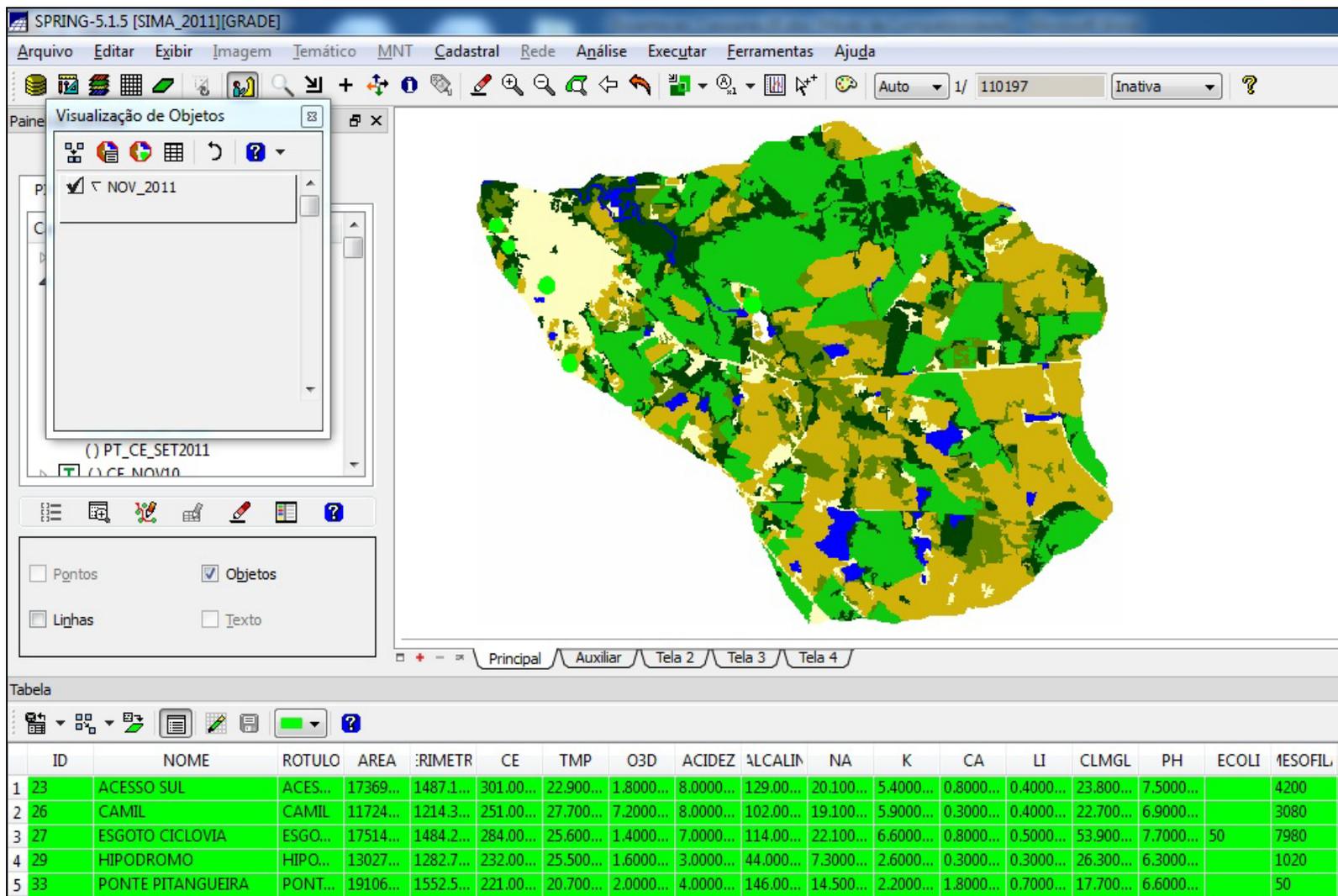


Figura 4.12 Resultado da consulta ao banco de dados geo-relacional - Pontos Hídricos que obtiveram Condutividade Elétrica acima de 200uS.

4.3.2 Correlação entre variáveis limnológicas

Em ambientes aquáticos como os córregos, arroios e rios, diversos fatores, como por exemplo, a descarga de efluentes urbanos ou industriais sem tratamento e o uso do solo nas áreas adjacentes, podem influenciar as características limnológicas. No complexo equilíbrio do ambiente aquático, existem correlações entre as variáveis que podem ser identificadas, com certo grau de confiança, aplicando a análise estatística de correlação. A correlação formaliza e padroniza os procedimentos para interpretação dos dados, dando assim mais credibilidade às conclusões estabelecidas.

Na Tabela 4.4, são apresentadas as correlações de Pearson entre os valores das variáveis limnológicas de todos os pontos amostrados no ano de 2011, para os meses de setembro, outubro e novembro. Estão em destaque as correlações estatisticamente mais significativas.

Tabela 4.4 Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis limnológicas

2011								
	CE	OD	Na ⁺	K ⁺	pH	Cl ⁻	ME	C.T
CE	1.00							
OD	-0.84	1.00						
Na ⁺	0.99	-0.86	1.00					
K ⁺	0.78	-0.75	0.80	1.00				
pH	-0.28	0.18	-0.30	-0.07	1.00			
Cl ⁻	0.49	-0.32	0.41	0.27	-0.50	1.00		
ME	0.45	-0.28	0.51	0.27	-0.43	0.13	1.00	
CT	-0.07	0.13	-0.09	-0.27	-0.15	-0.45	0.13	1.00

Destacam-se as correlações positivas entre condutividade elétrica CE e sódio Na⁺ que foi de 0.99 com um coeficiente de determinação de 98%; e CE e Potássio K⁺ (0.78) com coeficiente de determinação de 61%; e Na⁺ com K⁺ (0.80) e coeficiente de determinação de 64%. Então podemos deduzir que a condutividade elétrica aumenta quando há um aumento na concentração de Na⁺ e K⁺, isso porque a CE mede a presença de íons na água, porém por meio da condutividade elétrica não é possível saber que tipo de íon está influenciando no aumento da CE, por esse motivo que se deve fazer outras análises como as de Na⁺ e K⁺.

A correlação forte e negativa entre CE e OD (-0.84) com coeficiente de determinação de 71% sugere que essas variáveis possuem grandezas inversamente proporcionais, pois enquanto a CE aumenta o OD diminui. Este fenômeno pode ser explicado, pois em ambientes impactados um dos fatores que contribuem para a diminuição do oxigênio é a presença de sais na água, que pode contribuir para o desenvolvimento de microrganismos, e esses geralmente consomem matéria orgânica e o oxigênio presente na água.

Quanto à correlação positiva entre CE e potássio K^+ (0.78), indica que além do Na^+ , o K^+ esteve bastante relacionado com a condutividade, portanto a CE se apresenta como parâmetro confiável, pois a presença desses dois sais estava bem acentuada e foi possível identificá-los por meio da CE. Além disso, é possível verificar que o OD apresentou uma correlação negativa entre Na^+ (-0.86) e K^+ (-0.75) com coeficiente de determinação de 74 e 56% respectivamente, sugerindo que a presença desses dois sais na água está associada com um certo impacto nos ambientes estudados, revelado pela diminuição do oxigênio dissolvido. Isto já havia sido identificado pela correlação da CE com Na^+ (0.99) e a correlação negativa da CE com o OD (-0.84). Portanto a presença de sais na água como o Na^+ e K^+ estiveram associadas a uma diminuição da concentração de OD na água. Segundo Tundisi e Tundisi (2008, p.111),

A respiração de plantas e animais aquáticos e a atividade bacteriana de decomposição são fontes importantes de perda de oxigênio dissolvido. No caso da interface sedimento-água, podem ocorrer perdas substanciais de oxigênio na água, em razão da atividade bacteriana e da oxidação química.

Observa-se ainda uma correlação entre Na^+ e K^+ (0.80) com coeficiente de determinação de 64%, esses dois elementos são muito utilizados na produção agropecuária, por exemplo, para a criação de bovinos, onde o sódio é oferecido em cochos de madeira ou cimentado muitas vezes sem nenhuma cobertura que o proteja de ventos e chuvas, o que pode ocasionar a perda desse sal para os solos e rios. O potássio é um dos principais elementos utilizados na agricultura em fertilizantes e sua combinação com os elementos nitrogênio N e fósforo P gera a adubação mais comumente recomendada pelos agrônomos, o famoso N-P-K.

A análise estatística de correlação de Pearson entre as variáveis limnológicas contribuiu para a interpretação dos dados, pois além de facilitar o entendimento garantiram uma confiabilidade nas análises de laboratório, pois o cruzamento das

informações permite detectar medições discrepantes com a realidade. A variável que se demonstrou de grande confiabilidade foi a condutividade elétrica, que no período analisado sempre obteve correlações com os sais analisados nesta pesquisa.

4.4 Resultados da integração de dados limnológicos e Sensoriamento Remoto

Para a integração dos resultados limnológicos e de sensoriamento remoto foi necessário primeiramente a elaboração de um mapa temático da região, elaborado por meio da imagem do satélite CBERS 2B, com resolução espacial de 2,5m. Neste mapa foi possível identificar sete classes de uso e ocupação do solo: 1) Lavouras de arroz; 2) Campo nativo; 3) Vegetação ciliar; 4) Área urbanizada; 5) Área industrial; 6) Vegetação arbustiva; e 7) Hidrografia (Figura 4.12). Esse procedimento também possibilitou quantificar as áreas pertencentes a cada microbacia, onde na Figura 4.13 é mostrado o percentual de ocupação do solo para cada microbacia analisada.

Com estas análises foi possível perceber que as microbacias localizadas ao lado oeste da área urbana correspondente ao Arroio Olaria (Microbacias 1 a 4) são caracterizadas pelo seu alto percentual de área urbana, entre 65 a 85%. Enquanto que a Microbacia 5 apresenta um maior percentual de campo nativo (48%), e as Microbacias 6 a 12 apresentam características predominantes de área orizícolas, com a categoria lavoura acima de 80%.

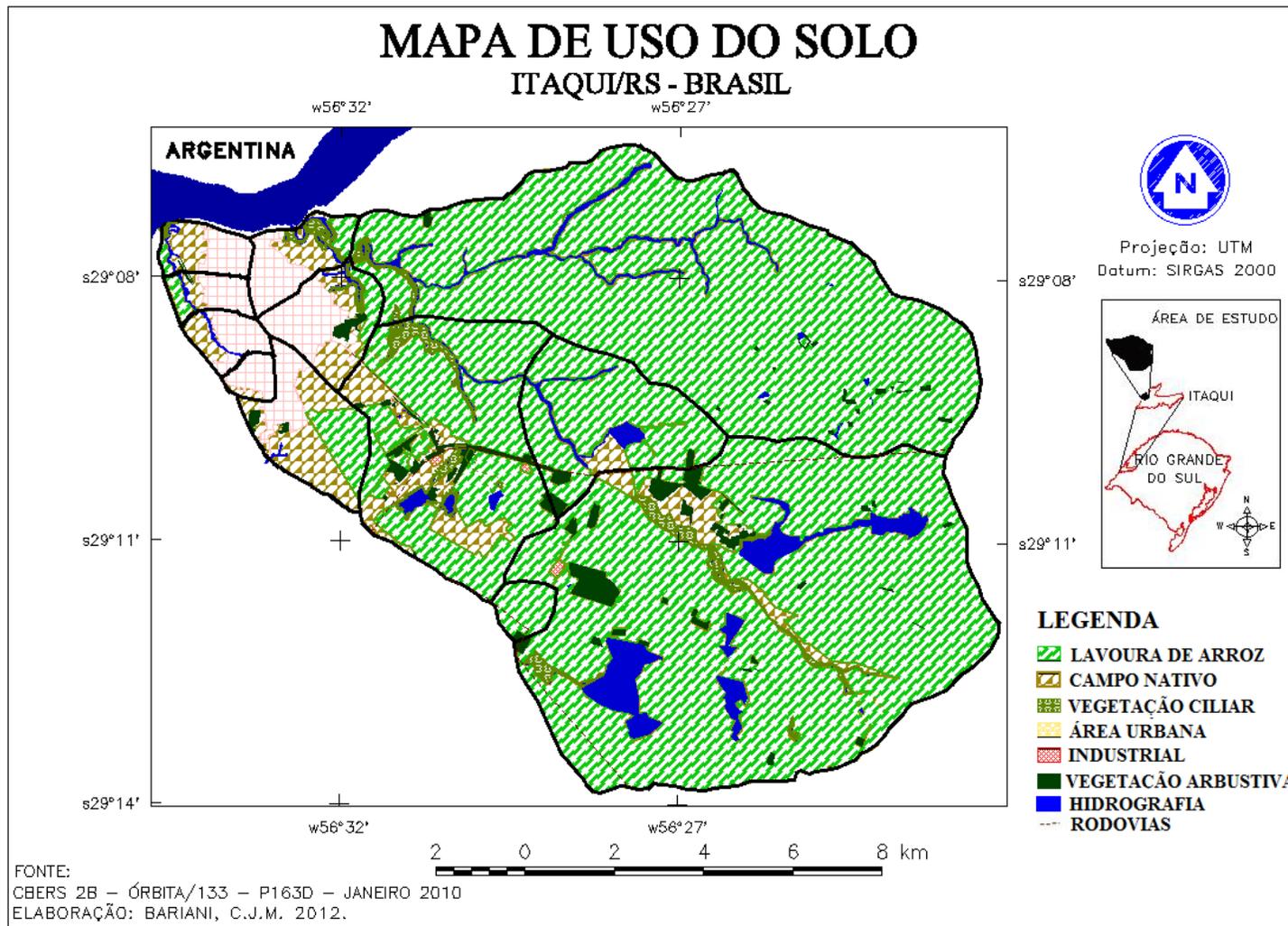


Figura 4.13 Mapa de uso e ocupação do solo obtido por meio da imagem do satélite CBERS 2B.

Percentagem de Uso do Solo por Microbacia

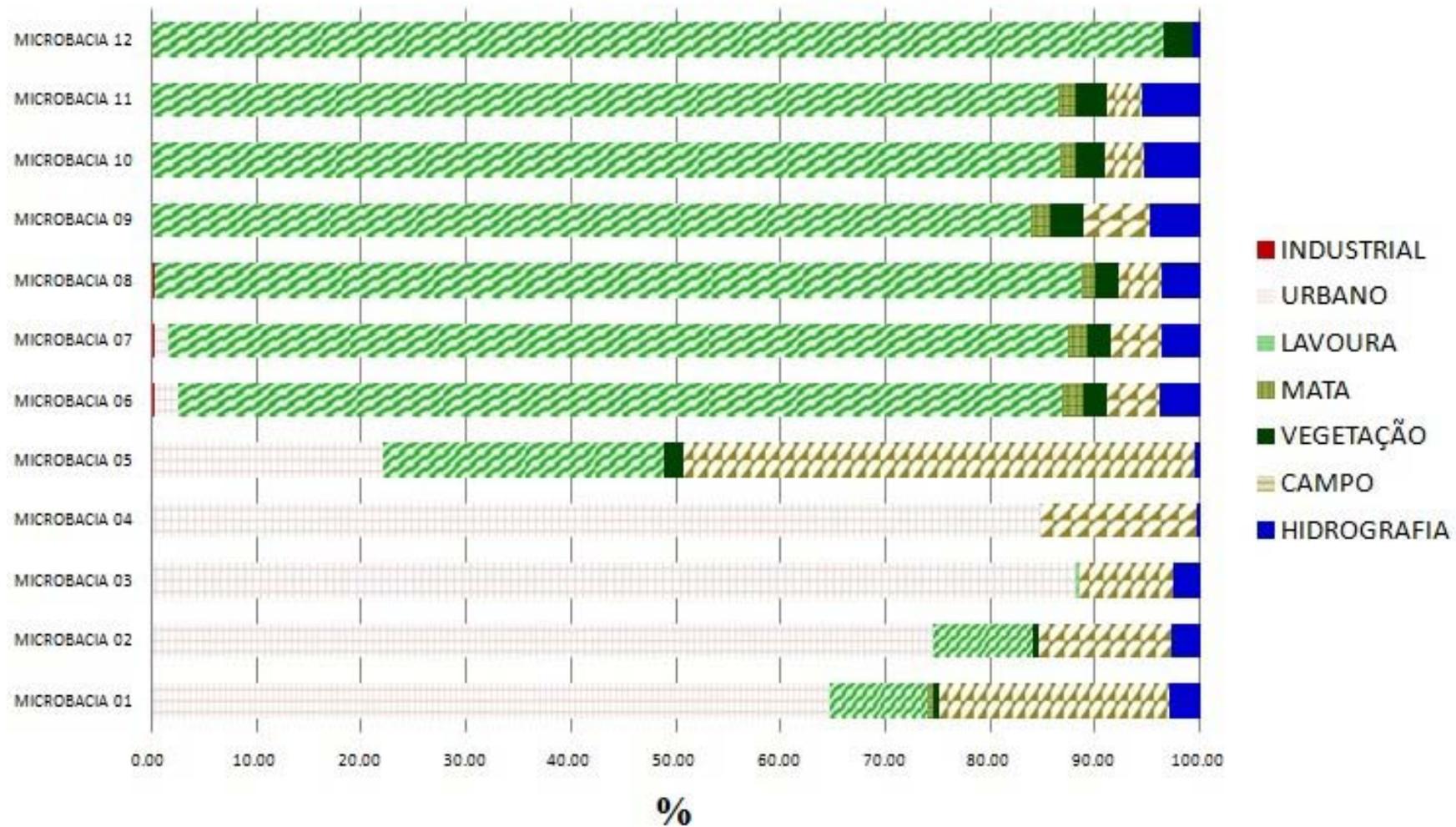


Figura 4.14 Gráfico do percentual de uso e ocupação do solo em microbacias.

Para analisar os resultados limnológicos e de sensoriamento remoto utilizou-se a correlação entre as variáveis físico-químicas e microbiológicas da água com as classes de uso do solo, consideradas em porcentagem da área total. A Tabela 4.5 apresenta os resultados obtidos para o grau de relacionamento entre as variáveis limnológicas e as classes de uso da terra. Os resultados mais significativos estão destacados, conforme apresentado na legenda.

Tabela 4.5 Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis limnológicas e de uso do solo

	CE	OD	Na ⁺	K ⁺	pH	Cl ⁻	ME	C.T
INDUSTRIAL	rs: 0,15 p: 0,71	rs: -0,40 p: 0,29	rs: 0,43 p: 0,25	rs: 0,30 p: 0,44	rs: -0,72 p: 0,04	rs: 0,52 p: 0,16	rs: 0,43 p: 0,25	rs: 0,63 p: 0,37
URBANO	rs: 0,35 p: 0,29	rs: -0,45 p: 0,17	rs: 0,48 p: 0,14	rs: 0,39 p: 0,24	rs: -0,35 p: 0,29	rs: 0,60 p: 0,06	rs: 0,71 p: 0,02	rs: 0,21 p: 0,69
LAVOURA	rs: 0,24 p: 0,49	rs: 0,31 p: 0,36	rs: -0,31 p: 0,36	rs: 0,01 p: 0,99	rs: 0,72 p: 0,01	rs: -0,35 p: 0,29	rs: -0,72 p: 0,02	rs: -0,67 p: 0,22
MATA	rs: 0,21 p: 0,66	rs: 0,54 p: 0,24	rs: 0,18 p: 0,71	rs: 0,07 p: 0,91	rs: 0,07 p: 0,91	rs: -0,50 p: 0,27	rs: -0,43 p: 0,35	rs: -1 p: 0,33
VEGETAÇÃO	rs: 0,03 p: 0,95	rs: 0,28 p: 0,43	rs: 0,10 p: 0,79	rs: 0,19 p: 0,61	rs: 0,19 p: 0,59	rs: 0,04 p: 0,92	rs: -0,65 p: 0,05	rs: -0,56 p: 0,32
CAMPO	rs: 0,35 p: 0,30	rs: -0,37 p: 0,26	rs: 0,44 p: 0,18	rs: 0,25 p: 0,45	rs: -0,42 p: 0,19	rs: 0,43 p: 0,19	rs: 0,65 p: 0,04	rs: 0,76 p: 0,08
HIDROGRAFIA	rs: -0,40 p: 0,19	rs: 0,58 p: 0,05	rs: -0,50 p: 0,95	rs: -0,24 p: 0,46	rs: 0,31 p: 0,32	rs: -0,48 p: 0,12	rs: -0,79 p: 0,00	rs: -0,27 p: 0,60

Legenda rs = coeficiente de correlação de Spearman; Na Sódio

p = probabilidade referente à estatística rs.

para o rs: >|0,7| = verde, |0,5| - |0,7| = amarelo.

para o p: < 0,05 = verde; 0,05 - 0,1 = amarelo.

CE Condutividade Elétrica

OD Oxigênio Dissolvido

K potássio

pH potencial de hidrogênio

IC soterolc

ME mesofilos

CT coliformes torais

A análise de correlação de Spearman, entre as variáveis limnológicas e de uso do solo, indicou ser coerente com aspectos característicos das áreas analisadas, tendo em conta a porcentagem da área urbana, lavouras, mata ciliar, vegetação arbórea e hidrografia, como pode ser observado na Tabela 4.5.

A classe Industrial apresentou uma correlação negativa com o pH (-0,72) e correlações positivas com Cl⁻ (0,52) e C.T (0,63). Este fato sugere que as áreas industriais contribuem para a acidez da água, e aumento das concentrações de cloretos e coliformes. O que pode ser explicado pelo fato de empresas de beneficiamento de arroz e de criação de suínos terem sido inseridas nesta classe de uso e ocupação do solo.

A classe Urbano apresenta correlações positivas com as variáveis Cl⁻ (0,60) e ME (0,71) e correlações negativas com OD (-0,45). Tanto as bactérias como os cloretos

indicam contaminação proveniente de atividades antrópicas, como esgoto sanitário que contém milhões de bactérias mesófilas e coliformes, além de cloretos que são expelidos com a urina. A variável de OD apresentou uma correlação inversa de -0.45, isto é, quanto maior a área urbana menos oxigenada será a água. Isso indica impacto devido ao fato do município de Itaqui ainda não possuir um sistema de tratamento de esgoto.

A Lavoura de arroz apresentou correlações positivas com pH (0.72) e correlações negativas entre ME (-0.72) e CT (-0.67). Isso sugere que a lavoura de arroz causa menos impacto se comparada com a área urbana da cidade, e talvez possa ter até um efeito depurador para as variáveis que foram analisadas (mesófilos e coliformes totais), pois quanto maior a área orizícola menor são as concentrações de bactérias.

Em relação à classe Mata observa-se uma correlação positiva com OD (0.54) e uma correlação negativas com CI (-0,5). Essas correlações sugerem que a Mata, assim como a lavoura estão associadas a uma certa capacidade de absorção de alguns nutrientes analisados e aumento da oxigenação da água.

A classe Vegetação apresentou correlações negativas entre ME (-0.65) e C.T (-0.56). Este fato corrobora com o exposto, pois as classes de Vegetação, Mata e Lavoura mantiveram correlações inversas com as variáveis consideradas proveniente de atividades antrópicas como de urbanização e pecuária.

Com relação à área de Campo percebe-se uma tendência semelhante a da área urbana, sendo correlações positivas entre as variáveis ME (0.65) e C.T (0.76) e correlações negativas com OD (-0.36). Este fato ocorre devido ao campo ser utilizado para a criação de animais, tanto bovinos, como ovinos, caracterizando a pecuária extensiva, com criação de animais sem confinamento, porém geralmente com superlotação e em áreas próximas à cidade. Estas características contribuem para as correlações semelhantes às encontradas na classe Urbano, pois da mesma maneira a pecuária contribui para a contaminação bacteriana, por meio dos dejetos desses animais.

A classe de Hidrografia apresenta correlações negativas entre os resultados de Na^+ (-0.50) e ME (-0.79), indicando que quando aumenta a área hidrográfica diminui a concentração desses elementos na água. Este fato pode ser associado ao fenômeno de diluição, já que quanto maior a área hidrográfica, maior é o volume de água disponível, provocando a diminuição das concentrações dos elementos vertidos nas águas. Esta afirmação é particularmente certa para as microbacias cuja área hidrográfica provém da presença do rio Uruguai. Isto também explica a correlação positiva desta classe com o

oxigênio dissolvido OD (0.58), já que o rio Uruguai consegue manter níveis de oxigenação e pH em padrões aceitáveis (ANA, 2011).

Dentre as variáveis limnológicas analisadas é possível perceber que o grau de incerteza, de erro associado à medição, pode ser considerado pequeno, já que as informações cruzadas entre variáveis denotam concordância e boa detectabilidade dos instrumentos utilizados, como condutivímetro, oxímetro, phmetro, etc.

Já para as variáveis de área a situação é diferente. Observa-se que a separação entre lavoura, área de pousio e campo, desde o ponto de vista espectral, não são claras. Isto significa que existe uma elevada probabilidade de confusão entre as classes, principalmente quando trabalhamos com imagens do sensor TM do Landsat 5 (Figura 4.9). Esta situação foi amenizada mediante o uso de imagens de maior resolução, como a do sensor HRC do CBERS-2B, e as disponíveis no SIG do Google Earth.

Portanto as análises de correlação de Spearman entre a percentagem de área em uma rede de drenagem e variáveis limnológicas em pontos hídricos indicaram ser sensíveis para diferenciar os efeitos da atividade antrópica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a conclusão da presente pesquisa faz-se necessário revisitar os objetivos propostos inicialmente. O objetivo geral consistiu em “*Analisar as relações entre variáveis de uso e ocupação do solo e limnológicas em três microbacias urbanas e rurais no município de Itaquí, com uso de imagens de satélites e coleta de dados limnológicos, por meio da construção de uma base de dados associada a um Sistema de Informação Geográfica (SIG)*”. Este objetivo foi atingido, pois as duas bases principais da pesquisa: a coleta de dados limnológicos e a integração de dados de SR em um SIG foram realizadas e permitiram a geração, interpretação e análise dos resultados. Por meio do cruzamento das informações, os resultados sugerem que o aumento na concentração das variáveis analisadas nos cursos hídricos estavam relacionados principalmente à poluição proveniente da área urbana e do campo utilizado para pecuária extensiva.

Na sequência são retomados os objetivos específicos, bem como os principais resultados e comentários relativos a cada um deles, juntamente com as sugestões e recomendações identificadas.

- 1º Objetivo específico: “*Avaliar as características de uso e ocupação do solo por meio de informações provenientes de sensores remotos*”.

A análise das características de uso e ocupação do solo foram feitas por meio de dados de radar provenientes da missão SRTM, a análise temporal de 20 anos feita por meio das imagens processadas de 1991 e 2011 do satélite Landsat5. Essas metodologias possibilitaram caracterizar a área de estudo, bem como verificar a evolução do uso do solo na região. Com isso foi possível observar que se trata de uma área com relevo plano, possuindo água em abundância.

Desta forma, os resultados obtidos por meio da análise temporal, indicaram a expansão das áreas de lavouras de arroz que aumentaram 17%. Este fato indica o potencial agropecuário da região, pois para se produzir é necessário água e solo de boa qualidade física e química. As características químicas do solo são de fácil correção dependendo da produção que se objetiva, porém as características físicas demandam alto grau de tecnologia para modificá-las.

Contudo os resultados sugerem um aumento da agricultura, pois as lavouras ficaram tecnificadas e mais produtivas, os produtores estão mais conscientes e estão aprendendo a consorciar lavoura e pecuária. Este fato justifica o aumento da área de lavoura e a diminuição do campo, pois o produtor hoje é capaz de aumentar a lotação de animais no campo aproveitando a resteva do arroz para alimentação do gado. Desta forma o produtor diversifica sua produção, aumenta a produção e produtividade orizícola e os índices reprodutivos na pecuária extensiva. A consequência é o aumento dos lucros e a diminuição dos custos de produção, pois o produtor esta em busca de uma exploração que seja sustentável econômica e ambientalmente para assim chegar a um equilíbrio com a produção de alimentos.

- 2º Objetivo específico: “*Analisar as correlações entre as variáveis limnológicas*”.

A análise estatística de correlação de Pearson entre as variáveis limnológicas contribuiu para a interpretação dos dados, além de facilitar o entendimento e garantir uma confiabilidade nas análises de laboratório. A variável que demonstrou de grande confiabilidade foi a condutividade elétrica, que no período analisado sempre obteve correlações positivas com os sais analisados nesta pesquisa. Apresentando uma correlação positiva entre CE com Na^+ (0,99), K^+ (0,78) e uma correlação negativa com OD (-0,84). Assim foi possível observar que o aumento da condutividade elétrica acompanha o aumento da concentração de sódio e potássio na água, bem como uma diminuição do oxigênio dissolvido. Sugerindo, portanto, que os pontos analisados obtiveram concentrações de sódio e potássio que puderam ser percebidas por meio da condutividade elétrica.

- 3º Objetivo específico: “*Correlacionar o uso e ocupação do solo com parâmetros limnológicos*”.

Por meio da imagem do satélite CBERS 2B foi possível identificar e quantificar as classes de uso do solo - hidrografia, urbano, campo, lavoura, vegetação e industrial - nas microbacias sob estudo. Com esta metodologia foi possível observar que a região é caracterizada principalmente pelo uso urbano e rural. Sendo que as quatro primeiras microbacias possuem características predominantemente urbanas (65 a 85%), a quinta possui características urbanas e rurais, com 48% de campo, 27% de lavoura e 22% de área urbana e as outras microbacias (seis a doze), possuem características predominantemente rurais, sendo 80 a 95% de áreas utilizadas para o cultivo do arroz.

Portanto é possível perceber a forte presença orizícola na região, onde em algumas microbacias chega a 95% da área ocupada. Porém a cultura do arroz tem seu

ciclo de setembro a abril, com o preparo do solo em setembro para a semeadura em outubro, entrada d'água em novembro e/ou dezembro e colheita em março e/ou abril. Desta forma após o ciclo do arroz os produtores utilizam as áreas orizícolas para produção de bovinos. Onde os animais são manejados do campo para as áreas de lavoura, e se alimentam da resteva do arroz nos meses de inverno (maio a agosto). Nestes meses há pouca oferta de gramíneas devido as baixas temperaturas na região. Por esse motivo os produtores se utilizam desta alternativa para suprir a demanda por alimentos nesta época do ano. Assim há uma diversificação da produção, otimização do uso do solo e da mão de obra, gerando mais emprego e oportunidade no campo.

A diversidade das análises limnológicas mostrou-se eficiente para a detecção de classes de uso do solo potencialmente poluidoras. As análises estatísticas das variáveis limnológicas contra uso e ocupação do solo indicaram a origem das contaminações proveniente da área urbana e campo. A classe Urbano apresentou correlações positivas com ME (0,71) e Cl⁻ (0,60) e a classe Campo apresentou correlações positivas entre ME (0,65) e C.T (0,76), indicando contaminação antrópica produzida pelo esgoto sanitário, não tratado, da área urbana e pela pecuária extensiva no campo. Esse fato pode contribuir para a degradação do ambiente, se não forem tomadas medidas para tratamento dos efluentes urbanos e rurais.

Por outro lado as classes de Mata, Vegetação e Lavouras demonstraram correlações negativas Cl⁻, ME e C.T, indicando que estas classes podem contribuir para absorção desses elementos pelas plantas. Ao mesmo tempo, estas classes auxiliam na oxigenação da água, como observado nas correlações positiva com mata (0,50), lavoura (0,31) e vegetação (0,28).

Com o desenvolvimento desta pesquisa foi possível observar o grande potencial do sensoriamento remoto e do sistema de informação geográfica para estudos do ambiente. Os ambientes aquáticos, pontos hídricos analisados, demonstraram-se intimamente relacionados aos sistemas terrestres, os quais são passíveis de monitoramento por meio de técnicas de sensoriamento remoto.

Portanto conclui-se que com as metodologias utilizadas foi possível identificar os efeitos das atividades antrópicas nos corpos hídricos na região estudada. Esse sistema de monitoramento também mostrou características favoráveis em relação a sua sustentabilidade econômica, pois os procedimentos utilizados, as imagens e o software foram obtidos gratuitamente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2011. - Brasília: ANA, 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). **HidroWeb**. Cotas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 20 abr. 2012.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF). Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Mary Ann H. Franson. Madrid: Ed. Diaz de Santos, 1ª. ed., 1992. 1816 p.

_____. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. CLESCERL, Leonore S. (Ed.), et al. Washington: Ed. AWWA, 21th Ed., 2005.

ANALYSE-IT FOR MICROSOFT EXCEL (version 2. 20). **Analyse-it Software**, Ltd, 2009. Disponível em: <<http://www.analyse-it.com/>>. Acesso em: 10 mai. 2012.

ANDRADES FILHO, C. O.; ROSSETTI, D. F.; ZANI, H. Hipsometria derivada de MDE-SRTM aplicada na distinção entre a Formação Barreiras e os Sedimentos Pós-Barreiras na Bacia Paraíba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: INPE, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A359A8>>. Acesso em: 13 mai. 2012.

ASSOCIAÇÃO RIO-GRANDENSE DE EMPREENDIMIENTOS DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURA - EMATER/DIT- UFRGS/DEP. SOLOS. Mapa de Classificação dos Solos. 2006. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/uploads/Solos2.pdf>>. Acessado em: 11 ago. 2011.

ATTANASIO, C. M. **Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola:** uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade. 2004. 193 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BARBIERI, D. W.; PEREIRA FILHO, W. Índices pluviométricos nas áreas de captação do reservatório Passo Real-RS e sua influência na reflectância da água medido pelo MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: INPE, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A63BBS>>. Acesso em: 13 mai. 2012.

BARIANI, N. M. V.; ZANELLA, A.; PAZDIORA, P. C.; BARIANI, C. J. M. V.; VALIM, M. F.; FELICE, R. D. Sistema Integrado de Monitoramento Ambiental baseado no Spring: SIMA-S. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: INPE, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A2K32H>>. Acesso em: 13 mai. 2012.

BARIANI, C. J. M. V.; ZANELLA, A.; PAZDIORA, P. C.; RAMOS, A.; FELICE, R. D.; BARIANI, N. M. V. Análise de parâmetros microbiológicos e cloreto para monitoramento integrado em microbacias urbanas. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: INPE, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A45FJH>>. Acesso em: 13 mai. 2012.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**. São Paulo, v.1, n.1, p. 152-169, Jun. 2008. Disponível em: <http://www.dge.apta.sp.gov.br/publicacoes/t%26ia/T&IAv1n1/Revista_Apta_Artigo_118.pdf>. Acesso em: 08 mai. de 2012.

BLASCHKE, T.; KUX, H. (orgs.). **Sensoriamento remoto e SIG avançados:** novos sistemas sensores, métodos inovadores. 2. ed. São Paulo, 2007. 304 p.

BRASIL. Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Presidência da República** – Casa Civil - Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF, 10 abr. 1989. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d97632.htm>. Acesso em: 10 fev. 2012.

_____. Resolução Conama n. 20, de 18 de junho de 1986. Dispõem da classificação das águas doces, salobras e salinas. 1986. Publicado no **Diário Oficial da União**, 30 jul. 1986. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html>>. Acesso em: 11 nov. 2011.

_____. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Resolução RDC, n. 12, de 2 jan. 2001**. Dispõe sobre os princípios gerais para o estabelecimento de critérios e padrões microbiológicos para alimentos. Disponível em: <http://www.abic.com.br/arquivos/leg_resolucao12_01_a_nvisa.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2012.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2001. Disponível em:<<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2012.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios Básicos em Geoprocessamento. In: ASSAD, E. D; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. Serviço de Publicação de Informação - SPI. Brasília, 1998. Ed. Eduardo Delgado Assad; Edson Eyji Sano – 2 ed., v. único. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, 1998. 434 p.

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

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - Superintendência de estudos e Informações Hidrológicas, Brasília, DF, 2000. Disponível em: <www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/GuiaAsso.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2011.

COMITÊ DE PLANEJAMENTO DA INFRAESTRUTURA NACIONAL DE DADOS ESPACIAIS - CINDE. **Plano de Ação para Implantação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais**. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <<http://www.concar.ibge.gov.br/detalheEntidades.aspx?cod=14>>. Acesso em: 12 fev. 2012.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Relatório de Qualidade da Água Superficiais do Estado de São Paulo - 2009**. São Paulo, 2009, p. 44. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/125-variaveis-de-qualidade-das-aguas-e-dos-sedimentos>>. Acesso em: 20 nov. 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução Conama n. 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/praias/res_conama_357_05.pdf>. Acessado em: 10 jul. 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução Conama nº20, de 18 de junho de 1986**. Dispõem da classificação das águas doces, salobras e salinas. 1986.

CRESPO, A. A. **Estatística fácil**. 13. ed. São Paulo: Ed. Saraiva, 1995.

CRUZ, R.C. **Prescrição de Vazão Ecológica: Aspectos Conceituais e Técnicos para Bacias com carência de Dados**. 2005.Tese (Doutorado em Ecologia) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia. UFRGS. Porto Alegre/RS.

DOWD, B. M.; PRESS D.; HUERTOS M. Agricultural nonpoint source water pollution policy: The case of California's Central Coast. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. California. vol. 128, Issue 3, nov. 2008, p. 151-161. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016788090800176X>>. Acesso em: 10 de jan. de 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Brasil em Relevo. Download SRTM. Rio Grande do Sul. Disponível em <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/rs/sh-21-x-c.htm>> Acessado em: 02/09/2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação. Rio de Janeiro. 1999. p. 412.

FARR, T.G.; ROSEN, P.A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; KOBRICK, S.H.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L.; SEAL, D.; SHAFFER, S.; UMLAND, J.J. The Shuttle Radar Topography Mission. **Review of Geophysics**. Califórnia, USA. v. 42, p. 2-53, 2007. Disponível em: <<http://www.agu.org/pubs/crossref/2007/2005RG000183.shtml>>. Acesso em: 05 ago. 2011.

FELGUEIRAS, C. A.; CÂMARA, G. Modelagem Numérica do Terreno. In: Câmara, G.; Monteiro, A. M., Medeiros, J. S. (Ed.) **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2004.

FLORENZANO, T. G. **Os satélites e suas aplicações**. 1. ed. 1. v. São José dos Campos, São Paulo: Ed. JAC Gráfica e Editora, 2008.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO/UNESCO). **International Sourcebook on Irrigation and Drainage of arid Lands in Relation to Salinity and Alkalinity**. FAO/UNESCO, Paris, avs, nr. 111, Aug. 18, 1964. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001422/142227eb.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2011.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - FEPAGRO. **Boletim Meteorológico do Rio Grande do Sul**. set. a nov. 2011. Disponível em: <www.fepagro.rs.gov.br>. Acesso em: 05 jan. 2012.

HOGAN, D. J.; CUNHA, M. P.; CARMO, R. L.; OLIVEIRA, A. B. Urbanização e Vulnerabilidade Sócio-ambiental: o caso de Campinas. **NEPO UNICAMP**. Campinas. Disponível em: <http://www.nepo.unicamp.br/textos/publicacoes/livros/migracao_urbanas/02pronex_13_Urbanizacao_Vulnerabilidade.pdf> Acesso em: 20 ago. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS-IBAMA (2012). **A Lei da Natureza**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/leiambiental/home.htm>>. Acesso em: 10 fev. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA -IBGE (2010). **Censo 2010**. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados_divulgados/index.php?uf=43> Acesso em: 22 jan. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2012). Itaqui Rio Grande do Sul - RS; Histórico. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/riograndedosul/itaqui.pdf>> Acessado em 22/01/2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (1986). Levantamento de Recursos Naturais: folha SH.21 de Uruguaiana. Rio de Janeiro/RJ, 1986.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2. ed. São José dos Campos, São Paulo: Parêntese, 2011. 585 p.

KENNIE, T. J. M.; PETRIE, G. Introduction to Terrain Modelling - application fields and terminology. In: Terrain Modelling. **Whittles Publishing**, 1990. 1-3 p.

KONECNY, G. **Geoinformation Remote Sensing, Photogrammetry And Geographic Information Systems**. Taylor & Francis (Ed.). London and New York. 2003. 266 p.

LANNA, Antonio Eduardo. "A Inserção da Gestão das Águas na Gestão Ambiental". **Relatório ao Congresso de Bacias**, 2001. Governo do Brasil: ESP/SERH, p.78.

LIU, X. Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. **Progress in Physical Geography**, v. 32, n. 1. p. 31–49. 2008.

LOPES, E. S. **Tutorial10 Aulas - SPRING 5.1** - Versão Windows e Linux. 2009. 140 p. Disponível em:

<<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>>. Acesso em 22 jan. 2012.

MACEDO, R. C; SOARES, J. V; SANTOS, J. R. Validação de modelo digital de terreno em área florestal com relevo ondulado, gerado a partir de dados LIDAR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: INPE, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/39UFM4E>>. Acesso em: 14 jun. 2012.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos**. Realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência Francesa. 3. ed. Ed. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2011. 686 p.

MARTINS, G. A.; DONAIRE, D. **Princípios de Estatística**. 4. ed. Ed. Atlas. São Paulo, 1990. 255 p.

MARUYAMA H.; AKIYAMA M. Responsibility of NMO's for sustainable development. In: CAMBRIDGE CONFERENCE, 2003, Southampton. **Ordnance Survey**. Southampton, 2003. Disponível em: <http://www.cambridgeconference.com/previous_conferences/2003/camconf/papers/2-3.pdf> Acessado em: 10 ago. 2011.

MEDEIROS, C. B.; PIRES, F. Banco de Dados e Sistema de Informação Geográfica. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. 2. ed. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa, 1998. 423 p.

MICKLIN, M. The ecological transition in Latin American and the Caribbean: theoretical issues and empirical patterns. In: BILSBORROW, R.E.; HOGAN, D.J. **Population and deforestation in the humid tropics**. Liège: IUSSP, 1999.

MILLER, C. L.; LAFLAMME, R. A. The digital terrain model: theory and application. **Photogrammetric Engineering**, v.24, n.3, p.433, 1958.

MONAGHAN, R. M.; WILCOCK, R. J; SMITH, L. C.; TIKKISSETTY, B.; THORROLD, B. S.; COSTALL, D. Linkages between land management activities and water quality in an intensively farmed catchment in southern New Zealand. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, vol., 118. Issues 1–4. New Zealand, january, 2007, p. 211-222. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880906001721>>. Acesso em: 04 jan. 2012.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação**. 4. ed. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2011. 422 p.

MUÑOZ, V. A; VALERIANO, M.M; WEILL, M.A.M. Estudo das relações solo-relevo pela análise geomorfométrica de dados SRTM e TOPODATA e a técnica de recuperação de conhecimento a partir de mapas. XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2011, Curitiba. **Anais eletrônicos...**São José dos Campos: INPE, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A2K32H>>. Acesso em: 13 jun. 2012.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. **Mosaico Geocover**. Disponível em: <<http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>>. Acesso em: 07 set. 2011.

PEDRAZZI, J. A. **Escoamento Superficial**. Disponível em: <http://www.facens.br/site/alunos/download/hidrologia/pedrazzi_cap7_escoamento_superficial.doc>. Acesso em: 10 mai. 2012.

PINHEIRO, E. S. Comparação entre dados altimétricos Shuttle Radar Topography Mission, cartas topográficas e GPS: numa área com relevo escarpado. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 58, v. 01. 2006.

QUEIROZ FILHO, A. P.; RODRIGUES, M. **A Arte de Voar em Mundos Virtuais**. 1. ed. São Paulo: Annablume, 2007. 162 p.

RAMIREZ, O. P.; LEITE, T. L.; ROLL, A. L. **Manual de métodos analíticos**. Laboratório de Análises de Águas e Efluentes. Agência de Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim. Universidade Federal de Pelotas - UFPel. 2009. 190 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2011). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

RIOS, A.J.W.; KLIEMANN, H.J.; OLIVEIRA, V.A.; JACOMINE, P.K.T. Densidade de amostragem e complexidade de área em levantamento pedológicos executados no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, vol. 38, n°1, p. 44-52, jan./mar. 2008. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/3614>>. Acesso em: 09 nov. 2011.

ROCKWELL, R.C. **Cities and global environmental changes**. 1999.

ROSIM, S. **Definição de Redes de Drenagem utilizando Modelagem Numérica de Terrenos**. 1999. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação)–Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Paulo, 1999.

SIEGEL, S.; CASTELLAN, N. J. **Estatística não-paramétrica para ciência do comportamento**. 2 ed. Ed. Bookman, Porto Alegre, 2006. 448 p.

SOILLE, P; GRATIN, C. An efficient algorithm for drainage networks extraction on DEMs. **Journal of Visual Communication and Image Representation**. França, Paris, vol. 5, p. 181–189, jun. 1994. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1047320384710170>>. Acesso em: 20 fev. 2012.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO -SOSBAI. **Arroz Irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado, 28. Boletim Técnico. Bento Gonçalves, RS. – Porto Alegre: SOSBAI, 2010. 188 p.

STAIR, R. M.; REYNOLDS, G. W. **Princípios de sistemas de informação**: uma abordagem gerencial. 4. ed. Ed. LTC, Rio de Janeiro, 2002.

TAMIOSSO, C. Fragilidades Ambientais Aplicadas à Gestão da Qualidade das Águas: Estudo de Caso da Bacia do Rio Santa Maria, RS. 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

TOUTIN, T. Map making with remote sensing data. In: Advanced Research Workshop on Remote Sensing for Environmental Data in Albania: A Strategy for Integrated Management (NATO), 1999, Tirana, Albania. **Proceedings...** 1999. 65-87 p.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. Oficina de Texto. 1 ed. São Paulo, 2008. 632 p.

_____. MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos hídricos no século XXI**. Oficina de Textos. São Paulo, 2011. 326 p.

VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. **Topodata**: Processamento dos Dados SRTM. INPE-16702-RPQ/854. São José dos Campos, São Paulo, 2010. 81 p. Disponível em: <<http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19%4080/2010/05.10.18.42/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2012.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. **Topodata**: Seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM. NPE-16701-RPQ/853. São José dos Campos, São Paulo. 2010. p. 74. Disponível em: <<http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.10.18.35/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2012.

VALERIANO, M. M. **Topodata**: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais. INPE-15318-RPQ/818. São José dos Campos/SP. 2008. p. 75. Disponível em: <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2012.

WALTER, J. P.; ROSSATO, M. V. Destino do Resíduo Casca de Arroz na Microrregião de Restinga Seca - RS: um enfoque à responsabilidade sócio ambiental. CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO. 2010, 6. Niterói, RJ. **Anais eletrônicos...** Niterói, RJ, 2010. Disponível em: <http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg6/anais/T10_0261_1040.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2012.

ANEXOS

Anexo 1 - Metodologia para obtenção de potencial de hidrogênio pH (4500 H⁺-APHA; AWWA; WPCF, 2005).

A. Procedimento:

- Colocar a amostra em um béquer, previamente ambientado;
- Ajustar o béquer e os eletrodos de forma que a amostra possa ser homogeneizada;
- Imergir juntamente com o eletrodo o compensador de temperatura (A quantidade de amostra deve ser suficiente para cobrir ao menos 4 cm do eletrodo de vidro;
- Agitar gentilmente para minimizar a interferência por dióxido de carbono.
- Aguardar a estabilização do equipamento.

Anexo 2- Metodologia Oxigênio dissolvido por oxímetro(4500-O-G - Standard Methods 21th Edition,2005)

A.Procedimento

- Antes de iniciar a análise, verificar se a membrana do equipamento não foi danificada;
- Calibrar o equipamento conforme seu manual de instruções;
- Realizar a leitura do ar do ambiente, esta deve estar entre 20,8 e 20,9 % O₂;
- Se necessário, transformar a unidade do oxímetro para mg O₂.L⁻¹;
- Imergir a sonda do equipamento no frasco de coleta;
- Aguardar o período necessário para estabilização e anotar o resultado;
- Enxaguar o eletrodo com água destilada, e secar com papel toalha, cuidando para não danificar a membrana;
- Repetir a leitura e anotar o resultado;
- Antes de guardar o equipamento, lavar a sonda com água e sabão neutro, a membrana pode ser limpa com auxílio de hastes flexíveis com ponta de algodão.

OBS.: Não utilizar álcool para limpeza da membrana. Secar o equipamento antes de guardar com papel toalha. Nunca guardar o eletrodo úmido, pois poderá ocorrer a formação de fungos ao redor da membrana.

B. Cálculo:

O resultado pode ser expresso diretamente a pós a leitura no equipamento em %O₂ ou em mg O₂.L⁻¹, sendo este o mais utilizado.

Anexo 3 - Metodologia para obtenção da condutividade elétrica(2510-B - Standard Methods 21th Edition, 2005).

A. Procedimento

- Ligar o equipamento 10 min. antes do uso para a estabilização térmica;
- Lavar as células com água deionizada e enxugar bem com papel absorvente, tendo-se muito cuidado com a parte interna dos eletrodos de platina;
- Lavar a célula com três porções de KCl 0,01M (Solução C-11/G);
- Transferir um volume suficiente da solução padrão de Cloreto de potássio para o copo plástico descartável e posicionar o eletrodo de condutividade e o termocompensador de maneira a obedecer ao critério de volume mínimo marcado no eletrodo;
- Calibrar o equipamento conforme seu manual de instruções;
- Efetuar a leitura da solução padrão de condutividade. OBS.: deve ficar em $1412 \pm 2 \mu\text{S. cm}^{-1}$. Caso não fique neste intervalo, recalibrar;
- Lavar os eletrodos e secar com papel absorvente;
- Lavar a célula com um pouco de amostra;
- Transferir um volume suficiente da amostra para um copo plástico descartável e posicionar o eletrodo de condutividade e o termocompensador de maneira a obedecer ao critério de volume mínimo marcado no eletrodo;
- Fazer a leitura três vezes e calcular a média dos resultados.

Anexo 4 - Metodologia para obtenção de cloretos (4500 Cl- – B - Standard Methods 21th Edition, 2005)

A. Procedimento

- Fazer uma prova em branco com 100 mL de água destilada;
- Medir na proveta 100 mL da amostra, ou alíquota diluída a 100 mL, com pipeta volumétrica ou balão e transferir para um erlenmeyer de 250 mL;
- Se a amostra apresentar alta coloração, adicionar 3 mL de suspensão de $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Solução S-13), misturar e filtrar;
- Adicionar 1 mL H_2O_2 30% (Solução P-2/E) para eliminação de sulfeto, sulfato ou tiosulfato;
- Ajustar o pH da amostra bruta entre 7,0 e 10,0 com H_2SO_4 1 N (Solução A-10) ou NaOH 1 N (Solução H-9) com pHmetro ou fita de pH;
- Adicionar 1 mL de K_2CrO_4 5 % (Solução C-16);
- Titular com uma bureta de 10 mL utilizando como titulante a solução de AgNO_3 0,0141N (Solução N-2/E) até que o precipitado atinja o primeiro tom alaranjado e anotar o volume de AgNO_3 gasto na titulação;

B. Cálculo

Para determinar cloretos em água utilizar a seguinte fórmula:

$$\text{mg Cl}^- \cdot \text{L}^{-1} = \frac{(\text{A} - \text{B}) \times \text{C} \times 35450}{\text{V amostra (mL)}} \times \text{Fd}$$

Onde:

A – Volume gasto de titulante

B – Volume gasto no branco

C – Normalidade da solução x Fn

Fd – Fator de diluição da amostra

Anexo 5 - Metodologia de contagem de heterótrofos em placas

Meios de cultura

Os meios de culturas utilizados foram Nutriente Ágar, para a contagem de mesófilos, composto em g/L por: a) Digestão Péptica de Tecido Animal: 5.00; b) Extrato de Bife: 1.50; c) Extrato de Levedura: 1.50; d) Cloreto de Sódio: 5.00; e e) Agar: 15.00, e Ágar MacConkey, para contagem de coliformes totais, composto em g/L por: a) Digestão péptica de tecido animal: 17.00; b) Protease Peptona: 3.00; c) Lactose: 10.00; d) Sais Biliares: 1.50; e) Cloreto de Sódio: 5.00; f) Vermelho Neutro: 0.03; e g) Agar: 12.00.

Material utilizado

- Balança analítica;
- Autoclave;
- Cultura bacteriana em meio sólido inclinado;
- Tubos ou frasco pequeno, vazio e estéril;
- Espátula de Drigasky;
- Pipeta automática ajustável para 1 ml e 100 µL;
- Ponteiras plásticas estéreis de 1 ml e 100 µL;
- Tubos com 4ml de água destilada;
- Placas de petri com meio Nutriente Ágar ou Ágar MacConkey;
- Agitador automático;
- Lamparina;
- Câmara de Fluxo Laminar; e
- Contador automático de colônias.

Foto 1 - Matérias utilizados para análises microbiológicas.



A. Procedimentos

- Pesar a quantidade necessária de Ágar Nutriente e Ágar MacConket;
- Autoclavar todos os matérias e meios de cultura por 20 minutos em 1 atm;
- Esterilizar a Câmara de Fluxo Laminar com álcool 70%, e posteriormente com a lâmpada ultravioleta por 15 minutos;
- Marcar cada placa de Petri com o nome do ponto, data e diluição da amostra;
- Preparar, em tubos de ensaio, cada volume de amostra ou diluição, no mínimo em duplicata;
- Agitar o tubo de ensaio contendo a amostra por 15 segundos com o auxílio de um agitador automático;
- Semear 100 μ l da amostra;
- Espalhar uniformemente por toda a placa a amostra com auxílio da espátula de Drigasky;
- Fechar a placa com fita crepe;
- Armazená-la invertida dentro de sacos plásticos estéreis;
- Incubá-las em 35°C as amostras semeadas em Nutriente Ágar e em 45°C as amostras semeadas em Ágar MacConkey; e
- Contar as colônias (brancas esféricas para Nutriente Ágar e rosadas para Ágar MacConkey).

Foto 2 - Semeadura em placas e contagem das colônias após incubação.



B. Cálculo

$$\text{UFC/mL} = \frac{\text{Média das Colônias Contadas} \times \text{Inverso da Diluição}}{\text{Volume Inoculado}}$$