

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**INFLUÊNCIA DO SISTEMA TERRESTRE NO
COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS E NA
REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DE SISTEMAS AQUÁTICOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aline Batista Ferreira

**Santa Maria, RS, Brasil
2008**

**INFLUÊNCIA DO SISTEMA TERRESTRE NO
COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS E NA
REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DE SISTEMAS AQUÁTICOS**

por

Aline Batista Ferreira

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geomática, Área de Concentração Tecnologia da Geoinformação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geomática**.

Orientador: Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho

**Santa Maria, RS, Brasil
2008**

F383i Ferreira, Aline Batista, 1979-

Influência do sistema terrestre no comportamento das variáveis limnológicas e na reflectância espectral de sistemas aquáticos / por Aline Batista Ferreira ; orientador Waterloo Pereira Filho. – Santa Maria, 2008.
100 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Geomática, RS, 2008.

1. Geomática 2. Uso e ocupação da terra 3. Sensoriamento remoto 4. Variáveis limnológicas 5. Reflectância I. Pereira Filho, Waterloo, orient. II. Título

CDU: 528.8

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Geomática**

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

**INFLUÊNCIA DO SISTEMA TERRESTRE NO COMPORTAMENTO
DAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS E NA REFLECTÂNCIA
ESPECTRAL DE SISTEMAS AQUÁTICOS**

elaborada por
Aline Batista Ferreira

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:

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

Roberto Rosa, Dr. (UFU)

Rudiney Soares Pereira, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 26 de junho de 2008.

*Dedico aos meus pais
Jone e Eurípedes aos meus
irmãos Daniel, Rafael e Flávia
e a todos os meus familiares.*

AGRADECIMENTOS

Meu maior agradecimento é dirigido aos meus pais, por terem sido o contínuo apoio em todos estes anos, ensinando-me, principalmente, a importância da construção e coerência de meus próprios valores. Sua paciência infinita e sua crença absoluta na capacidade de realização a mim atribuída foram os elementos propulsores desta dissertação.

Ao Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho, pela orientação, revisão e os incentivos para o desenvolvimento desta dissertação. Agradeço, principalmente, pela confiança depositada.

Ao Prof. Dr. Roberto Rosa, primeiro por todo apoio durante minha graduação e como estagiária no Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal de Uberlândia, e pelo incentivo e apoio durante meu mestrado.

Ao Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira, do Departamento de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria, pelo apoio com o Espectrorradiômetro.

Ao secretário da Pós-Graduação em Geomática/UFSM, Wanderley da Costa Vasconcellos pelo apoio e atenção.

Ao Flávio Wachholz, pela grande ajuda no Laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal de Santa Maria, para a análise dos dados limnológicos.

Aos colegas de Pós-Graduação Diogo Kersten e Gilberto Deprá, por terem me acompanhado nas campanhas de campo.

Aos meus amigos de Minas Gerais, que mesmo longe sempre me incentivaram, ajudaram e apoiaram: Ana Luiza, Michele Tomiyama, Lucas Butti, Carla Rodrigues, Flávia Cavalcanti, Baltazar Casagrande, Felipe Provenzale.

Aos meus amigos de Santa Maria, Mariangela Uhlmann, Daniel Pimentel, Lucio Amaral, Jordano Zagonel, Victor Lutz, Mariana Amaral, pela amizade e pelo convívio.

Em especial agradeço a duas grandes amigas, Kárita Silvestre e Déborah König, pelo imenso apoio, confiança e amizade, que sempre tiveram por mim, devo muito dessa dissertação a vocês.

Ao Luiz Marchiotti Fernandes, da Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM, pela ajuda com as correções da Dissertação.

Enfim agradeço a todas aquelas pessoas que de uma maneira ou outra, contribuíram para a execução dessa dissertação.

Obrigado!!!

Os problemas significativos que enfrentamos não podem ser resolvidos no mesmo nível de pensamento em que estávamos quando os criamos.

Albert Einstein

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria

INFLUÊNCIA DO SISTEMA TERRESTRE NO COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS E NA REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DE SISTEMAS AQUÁTICOS

AUTORA: ALINE BATISTA FERREIRA

ORIENTADOR: WATERLOO PEREIRA FILHO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 26 de Junho de 2008.

A pesquisa teve como objetivo avaliar os impactos do uso da terra nas variáveis limnológicas e reflectância espectral dos corpos d'água de três sub-bacias, localizadas na região central do Rio Grande do Sul. As áreas trabalhadas foram: as sub-bacias do arroio Cadena e dos rios Vacacaí-Mirim e Ibicuí-Mirim – RS (Brasil). Para o levantamento do uso e cobertura da terra foram utilizadas cartas topográficas e imagens CCD/CBERS 2 (outubro de 2006). As imagens foram processadas com o uso do software IDRISI 32, por classificação supervisionada que permitiu a identificação e quantificação das diferentes áreas de uso da terra (Área Urbana, Agricultura, Pastagens, Campos e Vegetação de pequeno porte, Corpos d'água e Florestamento). As variáveis limnológicas analisadas foram: transparência da água, total de sólidos em suspensão (TSS), total de sólidos dissolvidos (TDS), temperatura da água e do ar, pH e condutividade elétrica (CE). Foram realizadas dez campanhas de campo que ocorreram nos dias 21, 23, 26, 28 e 30/11 e 03, 05, 07, 10 e 12/12 de 2007. As medidas radiométricas foram realizadas com o espectrorradiômetro FieldSpec3 (intervalo espectral de 350 a 2500nm e resolução espectral variando de 3 a 10nm), as coletas foram executadas nos dias 30/11/2007 e 07/12/2007. A identificação das formas de uso da terra permitiu avaliar o comportamento das variáveis limnológicas para cada sub-bacia. As concentrações de TSS e TDS foram menores na SB do rio Ibicuí-Mirim, em decorrência da maior presença de vegetação em suas margens, o que influenciou também em sua reflectância (baixo albedo). Já no arroio Cadena foram encontrados os maiores valores de TDS, e no rio Vacacaí-Mirim o TSS foi o mais elevado. A CE assumiu valores elevados no rio Vacacaí-Mirim (207 a 397 μScm^{-1}) e no arroio Cadena (459 a 563 μScm^{-1}), por possuírem uma elevada quantidade de sais dissolvidos, devido a proximidade com a área urbana, principalmente o arroio Cadena por ter cerca de 63% de sua área urbanizada. Quanto aos valores de pH, ocorrem variações entre as três sub-bacias, ficando entre 6,0 e 7,0. Devido à elevada concentração de matéria orgânica na superfície do rio Vacacaí-Mirim, este apresentou na faixa de comprimento de onda do verde (entre 500nm e 600nm) valores mais expressivos de reflectância que as sub-bacias do arroio Cadena e do rio Ibicuí-Mirim. A análise integrada dos resultados permitiu constatar como o metabolismo aquático e sua reflectância são influenciados pela forma de uso da terra em cada tipo de sub-bacia analisada, sendo a rural mais afetada quanto ao TSS e a reflectância e a urbana no TDS.

Palavras-chave: uso e ocupação da terra; sensoriamento remoto; variáveis limnológicas; reflectância.

ABSTRACT

Master Dissertation
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria-Brasil

LAND INFLUENCE SYSTEM IN THE VARIABLES LIMNOLOGICAL AND SPECTRAL REFLECTANCE OF AQUATIC SYSTEMS

AUTHOR: ALINE BATISTA FERREIRA
ADVISOR: WATERLOO PEREIRA FILHO
Santa Maria, June 26th, 2008

This study aimed evaluating the impacts of landuse in the limnological variables and spectral reflectance of the water of three watersheds, located in the central region of Rio Grande do Sul. The areas studied were: the watershed of the Cadena Creek and Vacacaí Mirim and Ibicuí-Mirim rivers - RS (Brazil). To obtain the data of the coverage and landuse topographic charts and images CCD/CBERS 2 were used (October 2006). Images were processed using the software IDRISI 32, and the supervised classification allowed the identification and quantification of different landuse areas (Urban Area, Agriculture, pastures, fields and small size vegetation, water and Forestation). Limnological variables examined were: water transparency, total suspended solids (TSS), total dissolved solids (TDS), water and air temperature, pH and electrical conductivity (EC). It performed ten field trips that occurred on days 21, 23, 26, 28 and 30/11 and 03, 05, 07, 10 and 12/12, 2007. Measures were taken with the radiometric spectroradiometer FieldSpec3 (spectral range of 350 to 2500nm and spectral resolution ranging from 3 to 10nm), the collections were performed on days 11/30/2007 and 12/07/2007. Identification of the landuse allowed the evaluation of the variables behavior for each limnological watershed. Concentrations of TDS and TSS were lower in the river Ibicuí-Mirim SB, due to the increased presence of vegetation on its banks, which also influenced their reflectance (low albedo). In Cadena Creek the highest values of TDS were found and the river Vacacaí-Mirim the TSS was the highest. The EC assumed high values in the river Vacacaí-Mirim (207 to 397 μScm^{-1}), and in Cadena Creek (459 to 563 μScm^{-1}), due to the proximity to urban areas, mainly the creek for about 63% of their urban area. The pH variations occurred among the three watersheds, between 6.0 and 7.0. Due to the high concentration of organic matter on the Vacacaí-Mirim is river surface, it presented a range of green wavelength (between 500nm and 600nm) most expressive reflectance values than the watershed of Cadena Creek and Ibicuí-Mirim River. The integrated analysis of the results showed how the metabolism and its aquatic reflectance are influenced by the way of the landuse in each type of watershed, being the rural area the most affected on the TSS and the urban reflectance on the TDS.

Keywords: occupation and landuse; remote sensing; limnological variables; reflectance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1.1	- Fluxograma Metodológico.....	22
FIGURA 2.1	- Localização das áreas das sub-bacias em estudo.....	24
FIGURA 3.1	- Atividades potencialmente poluidoras em uma bacia hidrográfica.....	34
FIGURA 3.2	- Tipos de uso na sub-bacia do Arroio Cadena.....	37
FIGURA 3.3	- Uso e Cobertura da Terra da Sub-bacia do Arroio Cadena.....	38
FIGURA 3.4	- Tipos de uso na sub-bacia do Rio Vacacaí-Mirim.....	39
FIGURA 3.5	- Uso e Cobertura da Terra da Sub-bacia do Rio Vacacaí-Mirim.....	40
FIGURA 3.6	- Tipos de uso na sub-bacia do Rio Ibicuí-Mirim.....	41
FIGURA 3.7	- Uso e Cobertura da Terra da Sub-bacia do Rio Ibicuí-Mirim.....	42
FIGURA 3.8	- Uso da terra nas Sub-bacias hidrográficas.....	43
FIGURA 3.9	- Informações espaciais e morfométricas das Sub-bacias.....	45
FIGURA 4.1	- Pontos de coletas das amostras.....	56
FIGURA 4.2	- Processo para obtenção do TSS.....	58
FIGURA 4.3	- Variação da transparência (DS) nos pontos de coleta.....	61
FIGURA 4.4	- Índices pluviométricos observados durante o período de coleta.....	62
FIGURA 4.5	- Variação do TDS nos pontos de coleta.....	63
FIGURA 4.6	- Variação do TSS nos pontos de coleta.....	64
FIGURA 4.7	- Temperatura do ar nas Sub-bacias no período de coleta.....	65
FIGURA 4.8	- Temperatura da água nas Sub-bacias no período de coleta.....	65
FIGURA 4.9	- Condutividade elétrica e pH.....	66
FIGURA 5.1	- Processos na trajetória da radiação solar.....	79
FIGURA 5.2	- Diagrama simbólico dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre.....	70
FIGURA 5.3	- Espectro Eletromagnético.....	72
FIGURA 5.4	- Interação de um feixe de luz com uma fina camada de água.....	74
FIGURA 5.5	- Coeficiente de absorção da água e das substâncias presentes na água... ..	75
FIGURA 5.6	- Comportamento espectral da água em seus diferentes estados físicos....	76
FIGURA 5.7	- Comportamento espectral da água em rios turvos e limpos.....	78
FIGURA 5.8	- Espectrorradiômetro FieldSpec3.....	79
FIGURA 5.9	- Pontos de aquisição dos dados com o Espectrorradiômetro.....	80
FIGURA 5.10	- Reflectância da água para o dia 30/11/2007.....	81

FIGURA 5.11 - Reflectância da água para o dia 07/12/2007.....	81
FIGURA 5.12 -Reflectância e desvio padrão na Baía de Chesapeake relacionadas a diferentes concentrações de clorofila (9mg/m ³ a 70mg/m ³).....	83
FIGURA 5.13 - Exemplos de espectros de reflectância de água medidos pelo Spectron nas estações de coleta durante a campanha de campo realizada entre 23/06/05 e 29/06/05, na região próxima à confluência dos rios Tapajós e Amazonas.....	84

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - Área ocupada pelas diferentes categorias de uso da terra, 2006.....	43
TABELA 4.1 - Dados coletados em campo e em laboratório para as Variáveis limnológicas.....	60

LISTA DE QUADROS

QUADRO 4.1 - Precipitações ocorridas antes e durante o período de coleta.....	59
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBERS = Chine Brazil Earth Resources Satellite
CCD = Charge-Coupled Device
CE = Condutividade Elétrica
CETESB = Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Cfa = clima subtropical úmido
COAs = Componentes Opticamente Ativos
cm = centímetro
DNOS = Departamento Nacional de Obras e Saneamento
DS = Transparência do Disco de Secchi
EMBRAPA = Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GPS = Global Positioning System
GVI = The Green Vegetation Index
H= declividade média da SB
ha = hectares
HRV = High Resolution Visible
IBM = International Business Machines
INMET = Instituto Nacional de Meteorologia
INPE = Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais
IV = Índice de Vegetação
IVP = infravermelho próximo
l = Litro
LANDSAT = Land Satellite
m = metros
mg = Miligramas
mm = milímetro
nm = nanômetro
PVI = índice de vegetação perpendicular
REM = Radiação Eletromagnética
RN = coeficiente de rugosidade
RS = Rio Grande do Sul
SB = Sub-bacia

SIG = Sistema de Informação Geográfica

SPOT = *Satellite Pour l'Observation de la Terre*

SR = Sensoriamento Remoto

TDS = Total de Sólidos Dissolvidos

TM = Thematic Mapper

TSS = Total de Sólidos em Suspensão

UTM = Projeção Universal Transversa de Mercator

V = banda do visível (vermelho)

LISTA DE SÍMBOLOS

m^2 = Metros ao quadrado

$\Sigma (R,C,T)$ = Somatório dos comprimentos das ravinas (R), canais (C) e tributários (T) em km

ΣCN = somatório do comprimento das curvas de nível

Δh = eqüidistância entre curvas de nível

P_f = Peso Final

P_i = Peso Inicial

V = Volume

$^{\circ}C$ = Graus centígrados

μm = micrômetro

k = coeficiente de atenuação vertical da radiação

Z_{ds} = profundidade do disco de Secchi, em metros

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	19
1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Organização do Documento	21
CAPÍTULO II	23
2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	23
2.1 Localização	24
2.2 Caracterização da Área	25
2.2.1 Geologia e Geomorfologia.....	25
2.2.2 Pedologia.....	25
2.2.3 Vegetação.....	26
2.2.4 Clima.....	27
CAPÍTULO III	28
3 USO E COBERTURA DA TERRA	28
3.1 Introdução	28
3.2 Fundamentação Teórica	28
3.2.1 Uso da terra e Cobertura da Terra.....	28
3.2.2 Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto aplicados a análise ambiental.....	29
3.2.3 Bacias Hidrográficas.....	33
3.3 Materiais e Procedimentos Metodológicos	35
3.3.1 Materiais.....	35
3.3.1.1 Documentos.....	35
3.3.1.2 Softwares.....	35
3.3.2 Procedimentos Metodológicos.....	36
3.3.2.1 Uso da Terra.....	36
3.4 Análise dos Resultados	37
3.4.1 Mapas de Uso e Cobertura da Terra.....	37
3.5 Conclusão	46
CAPÍTULO IV	48
4 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS	48
4.1 Introdução	48
4.2 Fundamentação Teórica	49

4.2.1	Sistemas Aquáticos.....	49
4.2.2	Transparência da Água.....	50
4.2.3	Total de Sólidos em Suspensão (TDS).....	50
4.2.4	Total de Sólidos em Suspensão (TSS).....	51
4.2.5	Temperatura.....	52
4.2.6	Condutividade Elétrica (CE).....	53
4.2.7	pH.....	54
4.3	Materiais e Procedimentos Metodológicos.....	55
4.3.1	Materiais.....	55
4.3.1.1	Equipamentos utilizados na coleta de campo.....	55
4.3.1.2	Equipamentos utilizados em laboratório.....	55
4.3.2	Procedimentos Metodológicos.....	55
4.3.2.1	Variáveis identificadas em campo.....	55
4.3.2.2	Variáveis identificadas em laboratório.....	57
4.4	Análise dos Resultados.....	58
4.4.1	Transparência do disco de Secchi (DS).....	61
4.4.2	Totais de Sólidos Dissolvidos.....	62
4.4.3	Totais de Sólidos em Suspensão.....	63
4.4.4	Temperatura.....	64
4.4.5	Condutividade Elétrica (CE) e Potencial Hidrogeniônico (pH).....	65
4.5	Conclusões.....	67
CAPÍTULO V	68
5	COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA ÁGUA.....	68
5.1	Introdução.....	68
5.2	Fundamentação Teórica.....	69
5.2.1	Sensoriamento Remoto.....	69
5.2.2	Radiação Eletromagnética.....	70
5.2.3	Comportamento Espectral da Água.....	73
5.2.3.1	Pigmentos Fotossintetizantes.....	77
5.2.3.2	Transparência da água e Total de Sólidos em Suspensão (TSS).....	77
5.3	Materiais e Procedimentos Metodológicos.....	79
5.3.1	Materiais.....	79
5.3.2	Procedimentos Metodológicos.....	80

5.4 Análise dos Resultados	80
5.5 Conclusões	84
CAPÍTULO VI	86
6 ANÁLISE INTEGRADA DOS RESULTADOS	86
CAPÍTULO VII	89
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
REFERÊNCIAS	91

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

A água é vista como um recurso natural renovável e disponível a todas as nossas necessidades, porém já há algum tempo ambientalistas alertam para o desperdício da água, sua contaminação devido ao lixo, esgoto, invasões ao redor das reservas, desmatamentos e poluentes industriais e agrícolas.

Segundo dados do International Hydrological Programme (SGARBI, 2007), 97,5 % da água disponível na Terra é salgada. A água doce compõe 2,5% do total e sua maior parte encontra-se nas geleiras e calotas polares. O ser humano tem, para seu uso, apenas 0,3% da água disponível que é encontrada nos rios e lençóis subterrâneos. Enquanto a população humana cresce geometricamente, o estoque hídrico permanece o mesmo. Ainda assim, ocorrem grandes desperdícios e os mananciais são alvos de criminosa degradação, seja no uso doméstico como no industrial.

No caso brasileiro, 80% da água disponível encontram-se na Amazônia, onde vivem apenas 5% da população. Por sua vez, 95% dos brasileiros têm disponíveis os 20% de água restantes (destaca-se que, o Brasil possui 12% do estoque de água doce disponível no mundo). E, ainda havendo uma distribuição geográfica desigual, o desperdício é enorme, pois, 30% da água tratada no Brasil é perdida em vazamentos pela rede distribuidora (SGARBI, 2007).

Com base na Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MENCONI, 2005), as terras destinadas à agricultura ocupam quase um quarto da superfície da Terra e o uso intensivo de fertilizantes, principalmente à base de nitrogênio, tem poluído o meio ambiente. Desde 1985, o despejo destes fertilizantes e agrotóxicos, assim como outros produtos poluentes, tem provocado e aumentado a incidência das chamadas “marés vermelhas”. Este fenômeno corresponde à proliferação de algas que liberam substâncias tóxicas, colocando em risco a vida aquática, tanto nos rios como os mares.

Visto que uma pequena porção de toda água do planeta é representada pelos ambientes aquáticos continentais e que com o crescimento da população tem-se um gradativo aumento da escassez da água, torna-se importante um monitoramento e um estudo sobre a qualidade das águas continentais.

Para se entender a dinâmica entre os sistemas aquáticos e terrestres um aspecto fundamental a ser estudado é a composição da água. Para isso, nesta pesquisa, foram utilizados o Sensoriamento Remoto (SR) e o Geoprocessamento.

Os estudos sobre as formas de uso da terra e a sua influência nas bacias hidrográficas, são considerados de grande importância, pois um uso inadequado pode trazer graves consequências ao ambiente aquático e conseqüentemente danos irreparáveis a estes ambientes.

No caso do uso da terra, as técnicas de SR e geoprocessamento contribuem de modo expressivo para a rapidez, eficiência e confiabilidade nas análises que envolvem os processos de degradação da vegetação natural, fiscalização dos recursos florestais, desenvolvimento de políticas conservacionistas, bem como vários outros fatores que podem ocasionar modificações no ambiente.

O estado de conservação da cobertura vegetal natural é um dos fatores determinantes da qualidade ambiental de bacias hidrográficas, em conseqüência, da qualidade das águas superficiais e desenvolvimento da fauna aquática. O desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal, provocando vários efeitos que modificam os componentes do ciclo hidrológico natural. Com a urbanização, a cobertura da bacia é alterada para pavimentos impermeáveis e são introduzidos condutos para escoamento pluvial, gerando alterações no ciclo como a redução da infiltração do solo, aumento do escoamento superficial, redução do escoamento subterrâneo, alterando de forma significativa a hidrógrafa dos cursos d'água.

A utilização de técnicas de geoprocessamento no monitoramento ambiental de bacias hidrográficas, em especial na avaliação da cobertura vegetal, contribui de modo expressivo para a agilização e eficiência das análises dos processos de degradação da vegetação natural, fiscalização dos recursos florestais e desenvolvimento de políticas conservacionistas.

Os ambientes aquáticos continentais apresentam características ópticas muito complexas devido à presença concomitante de vários componentes na água em concentrações que variam tanto no espaço quanto ao longo do tempo. Associa-se a esta limitação o fato de que o sinal que atinge os sensores possui baixa intensidade. Além disso, outros fatores afetam a atenuação da radiação captada pelos sensores devido ao fato de que os corpos d'água estão sujeitos à alteração da rugosidade da superfície pela ação dos ventos, à reflexão especular da luz solar em função do ângulo de incidência, a interferência da reflexão do fundo em águas transparentes e pouco profundas e a atenuação pela atmosfera (CHEN et al, 1992).

Neste contexto, esta pesquisa teve como objetivo principal tratar do grau de influência do uso da terra nas variáveis limnológicas e conseqüentemente na reflectância

espectral dos corpos d'água naturais das sub-bacias do Arroio Cadena e dos Rios Vacacaí-Mirim e Ibicuí-Mirim, localizadas na região central do Rio Grande do Sul.

Dessa forma buscou-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- * Análise das formas de uso da terra nas áreas das bacias e sua influência nos parâmetros limnológicos, por meio da elaboração de mapas de uso e cobertura da terra;
- * Avaliação das variáveis limnológicas (transparência da água, total de sólidos em suspensão, total de sólidos dissolvidos, pH, temperatura (da água e do ar) e condutividade elétrica), e;
- * A análise espectral dos corpos d'água, a partir de dados obtidos com espectrorradiômetro.

1.1 Organização do documento

No presente capítulo (Capítulo I) procurou-se contextualizar para o leitor o foco principal deste estudo, com os objetivos a serem alcançados. Este documento possui mais seis capítulos. O Capítulo II apresenta a caracterização e a localização da área onde às bacias estão inseridas.

No Capítulo III é tratado do uso e ocupação da terra e a influência nas bacias em estudo. O Capítulo IV refere aos estudos limnológicos efetuados na pesquisa e como estes são afetados pelo uso da terra. O Capítulo V apresenta dados e análises sobre a reflectância espectral da água das áreas estudadas. No capítulo VI, tem-se uma análise integrada de todos os resultados encontrados e no capítulo VII e último são apresentadas às considerações finais sobre a pesquisa.

A Figura 1.1 representa o fluxograma com a metodologia adotada para a elaboração da dissertação. As etapas estão descritas de forma detalhada nos capítulos que se seguem.

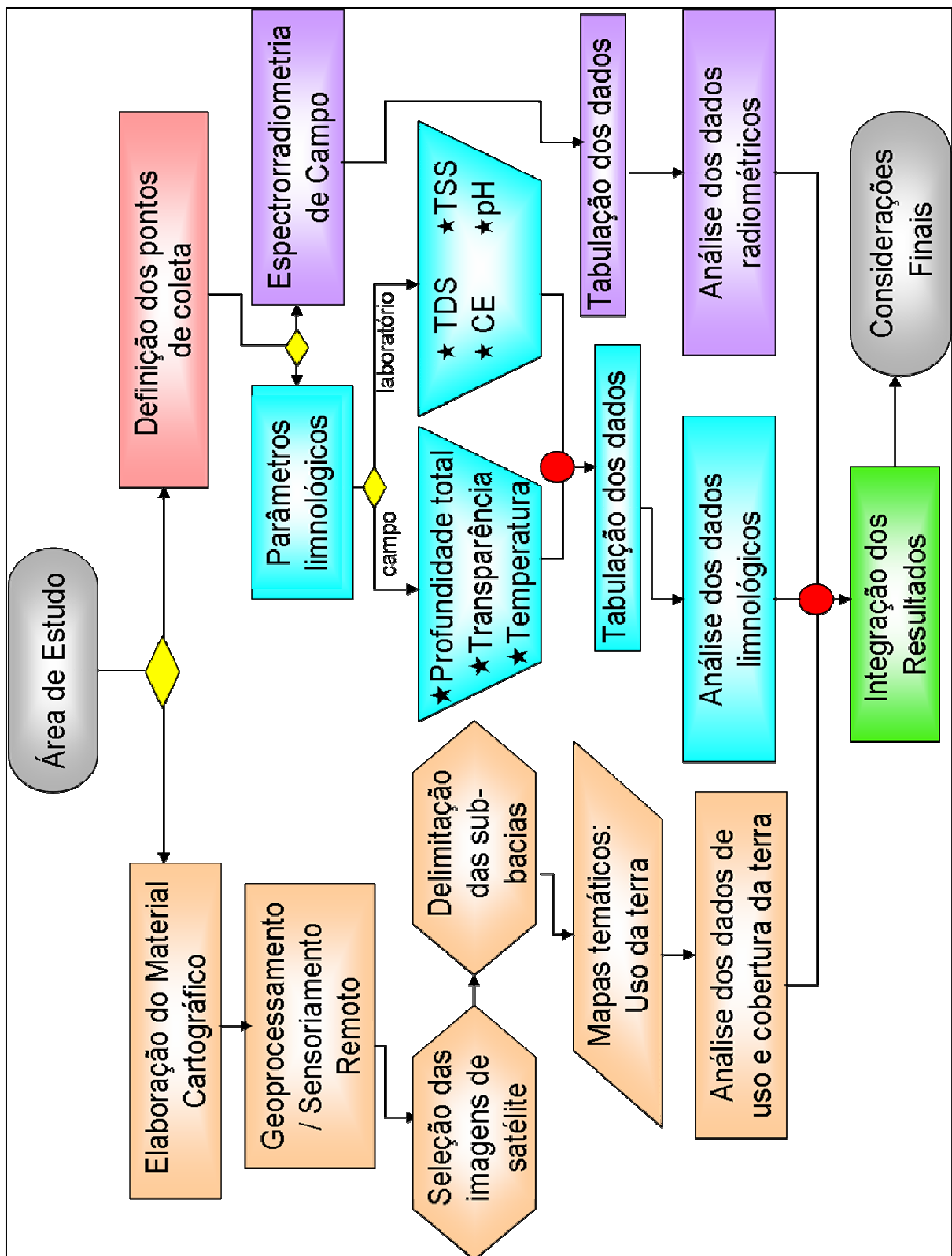


Figura 1.1 – Fluxograma metodológico

CAPÍTULO II

2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EM ESTUDO

2.1 Localização

As sub-bacias em análise são o Arroio Cadena e os Rios Vacacaí-Mirim e Ibicuí-Mirim, elas estão inseridas na mesorregião Centro Ocidental Rio-Grandense. A sub-bacia do Arroio Cadena está localizada nas coordenadas 29,65° e 29,73° de latitude sul e 53,80° e 53,86° de longitude oeste de Greenwich. A SB do Rio Vacacaí-Mirim nas coordenadas 29,61° e 29,70° de latitude sul e 53,71° e 53,83° de longitude oeste de Greenwich, ambas inseridas no município de Santa Maria-RS, e possuem uma área de cerca de 4.883,40 ha e 6.367,39 ha, respectivamente. Já a sub-bacia do Rio Ibicuí-Mirim está localizado entre os municípios de Santa Maria, Itaara e São Martinho da Serra-RS, nas coordenadas 29,45° e 29,60° de latitude sul e 53,70° e 53,85° de longitude oeste, possuindo uma área de aproximadamente 15.955,28 ha.

O Rio Vacacaí-Mirim e o Arroio Cadena pertencem à bacia do Rio Vacacaí que por sua vez faz parte do Rio Jacuí. O Rio Ibicuí-Mirim faz parte do Rio Ibicuí que é o principal afluente do Rio Uruguai. Sua formação dá-se na junção do Ibicuí-Mirim com o Rio Santa Maria, na região sudoeste do Rio Grande do Sul. Além disso, oferece a possibilidade de ligação com a bacia do Jacuí, formando uma via navegável que atravessará o estado do Rio Grande do Sul de leste a oeste. Portanto, as áreas localizam-se em um divisor de águas de dois importantes sistemas hídricos do RS.

A Figura 2.1 apresenta a localização das sub-bacias do Arroio Cadena e dos Rios Vacacaí-Mirim e Ibicuí-Mirim.

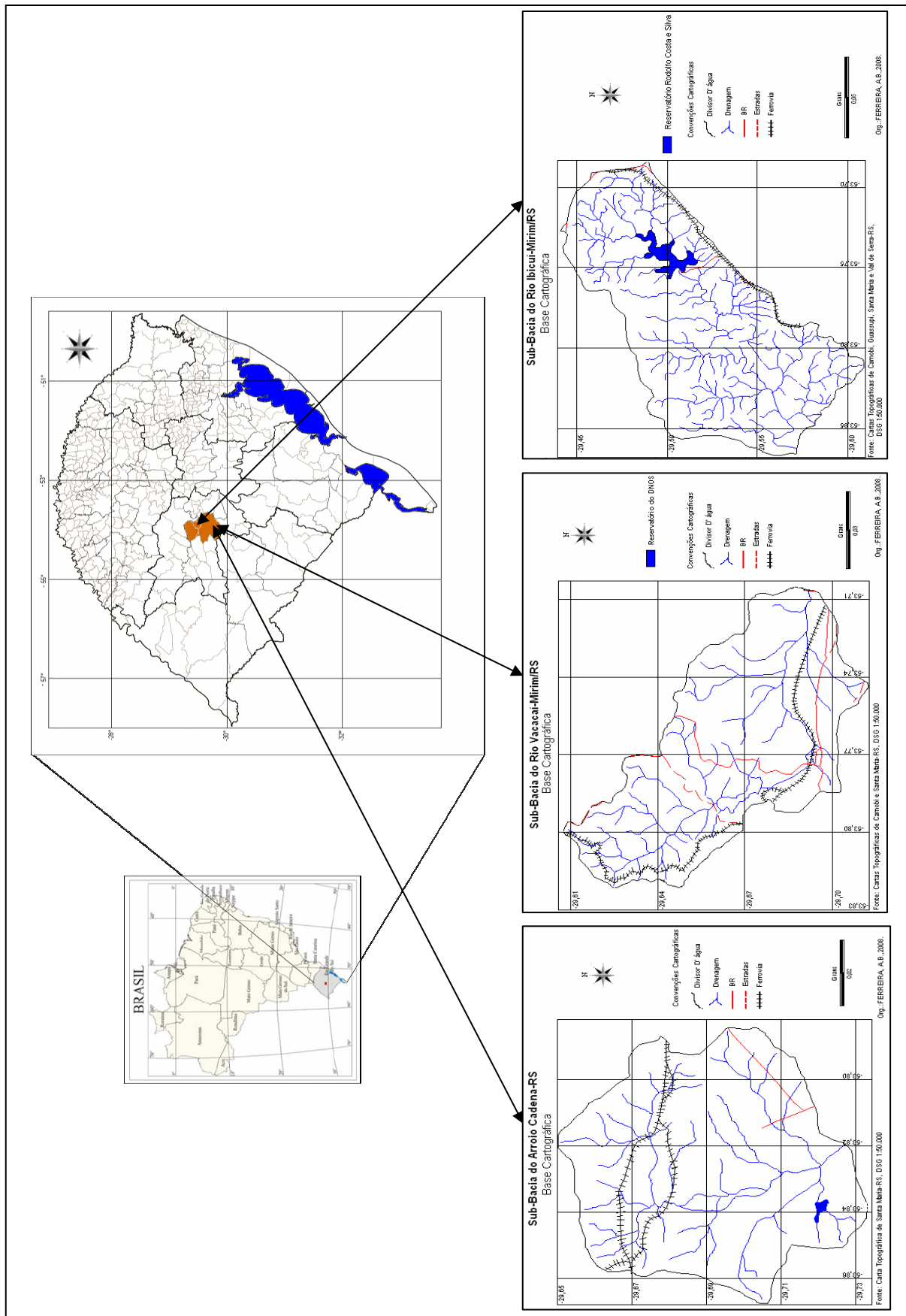


Figura 2.1 – Localização das áreas das sub-bacias em estudo

2.2 Caracterização da Área

2.2.1 Geologia e Geomorfologia

O Rio Grande do Sul apresenta quatro grandes compartimentos geomorfológicos: planalto, depressão central, escudo sul-rio-grandense e planície costeira. Neste contexto, as áreas em estudo, localizadas no centro do estado, ocupam áreas de planalto e da depressão central (CASTILLERO, 1984). Desta forma, as áreas podem ser divididas em três grandes compartimentos geomorfológicos com características morfológicas e geológicas distintas:

1) Região do Planalto: A zona das nascentes localizada na denominada região do planalto, é formado pelo vulcanismo da Bacia do Paraná, ocorrido no Mesozóico, com a presença de Basaltos, arenitos “intertraps”. A região é caracterizada pela presença de um relevo ondulado e suavemente ondulado, resultante do trabalho de dissecação fluvial na superfície do planalto. A drenagem tem padrão dendrítico, com vales em V ou de fundo plano (CASTILLERO, 1984).

2) Rebordo do Planalto: É uma área de transição entre o planalto e a depressão central, caracterizada por escarpas abruptas. A drenagem flui no sentido da depressão central e é caracterizada por um padrão dendrítico com presença marcante dos vales em V, que por erosão regressiva provocam o festonamento da escarpa (CASTILLERO, 1984).

3) Depressão Central ou Periférica: É constituída por rochas sedimentares da bacia do Paraná, que datam do Paleozóico e Mesozóico (Triássico), encobertos localmente por sedimentos cenozóicos e também recentes (planícies aluviais). Destaca-se na região uma topografia mais ou menos plana e suavemente ondulada, com morros de forma arredondada (CASTILLERO, 1984).

2.2.2 Pedologia

As sub-bacias estão inseridas em três unidades de mapeamento: Unidade de Mapeamento São Pedro, Unidade de Mapeamento Santa Maria e Unidade de Mapeamento Venda Grande. A Unidade de Mapeamento São Pedro pertence à Formação Santa Maria (Cretáceo Inferior até o Triássico Superior), com substrato de arenitos, ocorrendo em altitude média de 150 metros, em terrenos ondulados com declividade entre 8 e 10%, com moderada capacidade erosiva, *argissolo vermelho-amarelo*, bem drenado, com profundidades superior a

1,0 metro, horizonte “A” com textura francoargilo-arenosa, horizonte “B” com textura argilo-arenosa a franco-argilo-arenosa, recomendação: culturas perenes ou pastagens.

Já a Unidade de Mapeamento Santa Maria, pertencente à Formação Santa Maria, é constituída por *chernossolo argilúvico*, substrato de Siltitos e arenitos (Formação Lacustre). Ocorrendo em altitude média de 100 metros, em terreno suavemente ondulado a ondulado (declividade média de 6%), com moderada a forte capacidade de erosão, solos imperfeitamente drenados, mediantemente profundos, textura horizontal “A” Franco-Arenosa a Arenosa. Horizonte “B” com textura Franco-Siltosa, recomendado para pastagem.

E por fim a Unidade de Mapeamento Venda Grande, pertencente à formação Santa Maria, sendo constituída por *chernossolo argilúvico* Órtico saprolítico, com substrato de Siltitos e Arenitos finos. Ocorre em altitude média de 150 metros, em relevo ondulado, com pequenas elevações arredondadas, onde a declividade se situa entre 10 e 15%, com moderada capacidade de erosão, solos moderadamente drenados, de mediana profundidade, horizonte “A” com textura Franco-Arenosa, textura horizontal “B” Franco-Argilo-Arenosa (CASAGRANDE, 2004).

2.2.3 Vegetação

A vegetação da região é compreendida basicamente por formações florestais - Floresta Subtropical, latifoliada de espécies semi-caducifolias, encontradas no rebordo do planalto, ao longo dos vales, em regiões de grande declividade, compreendendo formações montanas e submontanas; formações campestres - campos cobertos por gramináceas contínuas, entremeadas de subarbustos isolados e formações especiais correspondentes às matas de galeria e vegetação ribeirinha (RUHOFF et al, 2003).

O município de Santa Maria agrega vegetações dos campos limpos e da floresta sub-caducifólia subtropical. Os campos limpos constituem a pastagem natural, predominando em quase toda a depressão central ou periférica do município. Ocorrem também na porção do Planalto. Em meio aos campos é comum a presença de capões isolados de mata de pequeno e grande porte (BORTOLUZZI, 1974).

Na transição entre o planalto e a depressão central, caracteriza-se a escarpa da Serra geral, ocupada pela floresta sub-caducifólia subtropical, a qual se constitui por dois estratos arbóreos distintos, um emergente e outro dominado. O estrato dominante apresenta árvores

com altura variando entre 25 e 30 metros, constituindo-se pelo predomínio de espécies leguminosas caducifólias, dentre as quais se destacam a Grápia e o Angico Vermelho. O estrato dominado, contínuo, é constituído por árvores cuja altura não ultrapassa os 20 metros, caracterizando-se por uma grande diversidade florística de espécies predominantemente perenifólias, com considerável ocorrência de lauráceas: Canela-Guaicá, Guajuvira e Alegrim, entre outras. Além dos dois estratos arbóreos referidos, verifica-se também a ocorrência de estrato arbustivo, com alta frequência de indivíduos, principalmente os gêneros *Actinostemon*, *Sorocea* e *Trichilia*, entremeados pela intensa regeneração das espécies formadoras dos níveis arbóreos (SEPLAN, 1986).

2.2.4 Clima

O clima é subtropical úmido, constituído por invernos e verões definidos, separados por estações intermédias com aproximadamente dois meses de duração, e chuvas bem distribuídas ao longo do ano.

A região está ainda sujeita, no outono e no inverno, ao fenômeno do "veranico", que consiste de uma sucessão de dias com temperaturas anormalmente elevadas para a estação. De acordo com o sistema de classificação de Köppen, o clima é o subtropical "Cfa", com temperatura média anual de 19,3°C; a média das temperaturas máximas do mês mais quente (janeiro) é de 31,5°C e do mês mais frio (julho) atinge os 9,3°C; a temperatura mínima absoluta é geralmente de 0°C, e a máxima absoluta é de 35°C (ISAIA, 1992).

A precipitação média anual é superior a 1.500 mm, com uma frequência de 113 dias. Entretanto, esta região pode sofrer um déficit anual superior a 200 mm de precipitação. A umidade relativa do ar média anual é de 82%; os ventos predominantes são de leste e sudoeste, com frequência expressiva também para os ventos que sopram do quadrante norte. A região é periodicamente invadida por massas polares e frentes frias, responsáveis pelas baixas temperaturas (inverno) e pela regularidade na distribuição das precipitações (MALUF, 2000).

CAPÍTULO III

3. USO E COBERTURA DA TERRA

3.1 Introdução

A expressão "uso da terra" pode ser entendida como sendo a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem. O levantamento do uso da terra é de grande importância na medida em que os efeitos do uso desordenado causam deterioração do ambiente. Os processos de erosão intensos, as inundações, os assoreamentos desenfreados de reservatórios e cursos d'água são conseqüências do mau uso da terra. Assim, a classificação do uso da terra numa dada região tornou-se um aspecto fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço.

Algumas ferramentas importantes para se detectar e mapear estas mudanças são os produtos do sensoriamento remoto obtidos por plataformas orbitais e os sistemas de informações geográficas. O sensoriamento remoto tornou-se uma importante fonte de informações para monitorar os recursos naturais da Terra nas últimas décadas, devido à possibilidade de se adquirir dados sobre grandes extensões geográficas, e assim, possibilitar a partir desses monitoramentos uma melhor compreensão dos processos que ocorrem nestas áreas.

Nesta perspectiva, a pesquisa visou elaborar mapas temáticos de uso e ocupação da terra, com o intuito de realizar o levantamento do meio físico de três sub-bacias (Arroio Cadena, Rio Vacacaí-Mirim e Rio Ibicuí-Mirim).

3.2 Fundamentação Teórica

3.2.1 Uso da terra e Cobertura da Terra

Novo (1998, p. 276), afirma que “o termo *Uso da Terra*, refere-se à utilização cultural da terra, enquanto que o termo *Cobertura da Terra* refere-se ao seu revestimento”.

Segundo Anderson et al (2005), o mapeamento da cobertura vegetal e seu monitoramento mostram-se de extrema importância, e existe um esforço por parte da comunidade científica em melhorar a acurácia destes estudos. Estes trabalhos visam observar

as mudanças devido a fatores naturais e antrópicos, buscar uma maior eficiência nas elaborações de planos de manejo de recursos naturais, assim como na análise da paisagem, delimitar áreas prioritárias para a conservação, ou ainda realizar estudos que envolvam tópicos sobre mudanças globais, modelagens de ciclos biogeoquímicos, estimativas de emissão de carbono dentre outros.

O levantamento e mapeamento do uso e cobertura da terra de uma dada região ou município é importante para mostra a distribuição espacial das atividades de exploração e conservação na área (PEREIRA et al, 1994).

Para Pacheco (1998), o conhecimento atualizado da distribuição e da área ocupada pela agricultura, vegetação natural, áreas urbanas e edificadas, bem como informações sobre as proporções de suas mudanças, se tornam cada vez mais necessárias aos legisladores e planejadores. Desse modo, existe a necessidade de atualização constante dos registros de uso da terra, para que suas tendências possam ser analisadas.

O levantamento do uso da terra numa dada região tornou-se um aspecto fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço. Entretanto, as medidas para o planejamento do uso da terra têm sido, até recentemente, baseadas em informações fragmentadas sobre os efeitos do uso do solo no ambiente. Isto ocorria porque não existiam registros seguros sobre as condições de uso da terra, não se podendo avaliar as alterações que são provocadas pelo homem. A utilização de dados atualizados de uso e revestimento da terra é muito ampla, podendo-se citar, por exemplo: inventário de recursos hídricos, controle de inundações, identificação de áreas com processos erosivos avançados, avaliação de impactos ambientais, formulação de políticas econômicas. (PACHECO, 1998, p.56).

O estudo das interações da declividade, solos e uso da terra na bacia hidrográfica pode ser feito com o uso do geoprocessamento, por possibilitar o armazenamento e gerenciamento desses dados, com rapidez e precisão, além de permitir a identificação de áreas propícias à degradação ambiental e a avaliação das estratégias de manejo antes que elas sejam adotadas (CÂMARA; DAVIS, 2002).

3.2.2 Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto aplicados a análise ambiental

O geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informação com referência geográfica. Estas são compostas por soluções em *hardware*, *software* e *peopleware*, que, juntos, constituem poderosas ferramentas para tomada de decisão (ROSA; BRITO, 1996).

Para a interpretação do termo geoprocessamento tem-se o conceito

Conjunto de tecnologias destinado à coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação. Em linhas gerais o termo geoprocessamento pode ser aplicado a profissionais que trabalham com processamento digital de imagens, cartografia digital e sistemas de informação geográfica. Embora estas atividades sejam diferentes estão intimamente inter-relacionadas, usando na maioria das vezes as mesmas características de hardware, porém softwares diferentes (ROSA; BRITO 1996, p.7).

A definição do termo Sistema de Informação Geográfica (SIG) muitas vezes é confundida com a definição de geoprocessamento, porém, há uma diferenciação visível, pois o geoprocessamento é um conjunto de tecnologias e, portanto suas funções são mais abrangentes que a do SIG, que também faz parte do geoprocessamento.

[...] um SIG pode ser definido como um sistema destinado à captura, armazenamento, checagem, interação, manipulação, análise e apresentação de referidos espacialmente na superfície terrestre. Portanto, o sistema de informação geográfica é uma particularidade do sistema de informação sentido amplo. Essa tecnologia automatiza tarefas até então realizadas manualmente e facilita a realização de análises complexas, através da integração de dados de diversas fontes (ROSA 1995, p.21).

Dentre as geotecnologias, está o Sensoriamento Remoto por Satélites, sendo este um conjunto de processos e técnicas usado para medir propriedades eletromagnéticas de uma superfície ou de um objeto, sem que haja contato físico entre o objeto e o equipamento sensor. Em outras palavras, é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, por meio da captação do registro da energia refletida ou emitida pela superfície (MOREIRA, 2003).

O surgimento do sensoriamento remoto inicia-se com o progresso da física nos estudos da óptica, da espectroscopia e da teoria da luz. Em 1856, Gaspar Felix Tournachou, acoplou uma câmara fotográfica em um balão e fotografou a cidade de Paris, sendo este episódio o marco inicial da fotografia aérea. Com o surgimento dos aviões, a fotografia aérea foi amplamente utilizada com fins cartográficos, principalmente na área militar (NOVO; PONZONI, 2001).

A corrida espacial deu nova dimensão ao sensoriamento remoto, impulsionado pelo rápido desenvolvimento de sofisticados sistemas sensores, plataformas de aquisição de imagens multiespectrais e programas de processamento digital de imagens. Este avanço tem-

se voltado para o desenvolvimento da capacidade de aquisição de múltiplos dados e de diferentes técnicas de análise de dados (LILLESAND; KIEFER, 1987).

Curran (1985), diz que o sensoriamento remoto ampliou a capacidade do homem em obter informações sobre os recursos naturais e o meio ambiente, colocando-se como mais uma ferramenta complementar para facilitar trabalhos temáticos e de levantamentos. Segundo Novo (1998), as principais vantagens que justificam os programas de sensoriamento remoto orbital são: estímulo às pesquisas multidisciplinares; informações de áreas de difícil acesso; universalização dos dados e das técnicas de tratamento e análise de dados digitais; facilidade do recobrimento de grandes áreas (visão sinóptica); cobertura repetitiva com mesma hora local; grande quantidade de dados pontuais, sobre uma mesma área; transferência de dados Satélite/Terra em tempo real; e o aspecto multiespectral, isto é, a capacidade dos sistemas sensores gerarem produtos em diferentes faixas espectrais, tornando possível o estudo e análise de elementos distintos, os quais são identificados em determinadas faixas do espectro.

Outra vantagem apresentada por esta tecnologia é o que conhecemos como resolução temporal, ou seja, a frequência/repetitividade com que cada região na superfície terrestre é recoberta por um satélite, o que possibilita um monitoramento temporal dos fenômenos e dos recursos naturais. Atualmente a utilização de imagens de satélite tornou-se uma das formas mais seguras, confiáveis e viáveis de caracterização, análise e monitoramento da vegetação em escalas local, regional e global.

Os satélites para estudos ambientais, vêm apresentando um notável desenvolvimento tecnológico, principalmente no que se refere à resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal, possibilitando um acompanhamento periódico na análise da evolução do uso da terra e cobertura vegetal de determinada área. Cada sensor a bordo dos satélites apresentam distintas bandas que operam em diferentes faixas do espectro eletromagnético, conhecendo o comportamento espectral dos alvos na superfície terrestre é possível escolher as bandas mais adequadas para estudar os recursos naturais (SAUSEN, 1996).

À medida que a tecnologia avança, o homem tende a ampliar suas aplicações. Assim também tem sido com o sensoriamento remoto, que, com o passar dos anos, tem fornecido resultados positivos, pelo esforço dos pesquisadores na busca de novas fontes alternativas para o monitoramento e controle ambiental do planeta (SAUSEN, 1996).

O sensoriamento remoto tem caminhado em diversas direções, pois a gama de problemas também é diversa. Há satélites que fornecem imagens em alta resolução espacial - de ordem métrica ou submétrica - com importantes aplicações em áreas urbanas ou monitoramento de detalhes na superfície, como acidentes e desastres ambientais. Outra direção são os sistemas que fazem imageamento em alta frequência temporal, que permitem acompanhamento dos fenômenos como, por exemplo, o início dos desmatamentos numa certa região, ou fenômenos que são mais dinâmicos. Porém, há uma classe de sistemas com resoluções ao redor de 10-40 metros, e com frequências de revisita de 10 a 30 dias, que têm um leque muito grande de aplicações, e que deverão continuar a fazer parte do sistema global de sensoriamento remoto por muito tempo (EPIPHANIO, 2005).

No estudo do solo e da capacidade de uso da terra, o mapeamento da declividade merece atenção especial (VIEIRA, 1988). A declividade do terreno se refere à inclinação da superfície do solo com relação ao plano horizontal e tem a sua determinação em metros para cada 100m deste plano. A declividade também pode ser expressa como a representação do gradiente das encostas expresso em graus ou porcentagem (GUERRA, 2003).

O desenvolvimento de um sistema para classificar dados sobre uso da terra, obtidos a mediante a utilização de técnicas de sensoriamento remoto, tem sido muito discutido. O tipo e a quantidade de informações sobre uso da terra dependem da resolução espacial, radiométrica, espectral e temporal dos diferentes sistemas sensores. O tamanho da área mínima capaz de ser descrita como pertencente a uma determinada categoria (classe) de uso da terra depende da escala e da resolução dos dados originais, além da escala de compilação e da escala final de apresentação (ROSA, 1997).

Consoante com Diniz (1984), as etapas essenciais para a elaboração de mapas de utilização da terra são: aquisição de fotografias aéreas e/ou imagens de satélite; definição da escala do mapa; definição da chave de identificação, ou seja, elementos que permitam a identificação do tipo de utilização da terra nas fotografias aéreas e/ou imagens de satélite; elaboração da classificação em que devem ser colocados os eventos observados nas fotografias e/ou imagens.

Classificação, em sensoriamento remoto, significa a associação de pontos de uma imagem a uma classe ou grupo, por exemplo, água, cultura, área urbana, entre outros. A classificação pode ser supervisionada e não-supervisionada. A classificação supervisionada é utilizada quando se tem algum conhecimento sobre as classes na imagem. Já a não-supervisionada é utilizada quando não se tem informações sobre a área imageada, por exemplo, não se dispõe de dados prévios sobre o número de classes presentes. As classes são definidas no algoritmo de classificação (CRÓSTA, 1992).

Segundo Campbell (1996), a classificação supervisionada pode ser informalmente definida como o processo no qual amostras de identidade conhecida são utilizadas para classificar pixels de identidade desconhecida. Neste processo, um analista identifica na imagem as classes de informação de seu interesse e separa regiões que melhor representem estas classes. Dentro destas regiões ele separa áreas de treinamento que contêm os pixels que serão usados como representantes da classe. A partir destes pixels são extraídas determinadas características das classes, que serão usadas para a classificação dos demais pixels.

Segundo Rosa (2003), é necessário que o acompanhamento e a distribuição espacial do uso e ocupação da terra sejam analisados constantemente para auxiliar nos estudos de desenvolvimento de determinada região.

3.2.3 Bacias Hidrográficas

Segundo Rosa et al (2004), bacia hidrográfica é uma área topograficamente definida pela drenagem de um canal fluvial ou por um sistema de canais fluviais conectados, de tal forma que toda água drenada nesse espaço tenha uma única saída. Cada bacia hidrográfica pode ser subdividida em bacias menores, o que significa dizer que uma bacia hidrográfica é formada por um conjunto de pequenas bacias.

De acordo com Tucci (1997), é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório.

Muita confusão é feita a respeito da distinção entre bacia, sub-bacia e micro-bacia hidrográfica. Todavia, o que é importante para o planejamento e gestão dos recursos hídricos é que sempre se identifique no local onde se está trabalhando qual a área de drenagem que contribui com escoamento para este ponto. Segundo Rocha (1997), bacia hidrográfica é a área que drena as águas de chuvas por ravinas, canais e tributários para um curso principal com vazão efluente convergindo para uma única saída e desaguando diretamente no mar ou em um grande lago. As sub-bacias hidrográficas deságuam diretamente em outro rio. A micro-bacia hidrográfica é definida como a área de formação natural, drenada por um curso d'água e seus afluentes. Em termos gerais, a micro-bacia é uma sub-bacia hidrográfica de área reduzida.

Pelo caráter integrador, Guerra e Cunha (1996) citaram que as bacias hidrográficas são consideradas excelentes unidades de gestão dos elementos naturais e sociais, pois, nessa ótica, é possível acompanhar as mudanças introduzidas pelo homem e as respectivas respostas da natureza.

As bacias hidrográficas possuem em sua rede de drenagem uma hierarquização, sendo que a água sofre escoamento do ponto mais alto para o mais baixo. A drenagem significa o traçado produzido pelas águas fluviais modelando a topografia (GUERRA et al, 2003). Estes traçados formam os padrões de drenagem em cartas ou em fotografias aéreas. Contudo Christofolletti (1980), afirma que a drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que formam a bacia de drenagem, sendo definida como a área drenada por um rio ou sistema fluvial.

A inclinação das vertentes é um fator importante nos processos erosivos, quando associados ao uso da terra e cobertura vegetal nas grandes áreas expostas (como pastagem ou solo exposto). Na maioria das vezes não se encontram curvas de nível ou qualquer tipo de cobertura vegetal e o escoamento superficial se torna mais rápido e, conseqüentemente, a lixiviação do solo torna-se freqüente.

Segundo a Vivaterra (2004) a noção de bacia hidrográfica inclui naturalmente a existência de cabeceiras ou nascentes, divisores de águas, cursos d'água principais, afluentes e sub-afluentes. Em todas as bacias hidrográficas deve existir uma hierarquização da rede hídrica e a água se escoar normalmente dos pontos mais altos para os mais baixos. O conceito de bacia hidrográfica deve incluir também noção de dinamismo, por causa das modificações que ocorrem nas linhas divisórias de água sob o efeito dos agentes erosivos, alargando ou diminuindo a área da bacia. A Figura 3.1 apresenta algumas atividades com potencial poluidor em uma bacia hidrográfica.

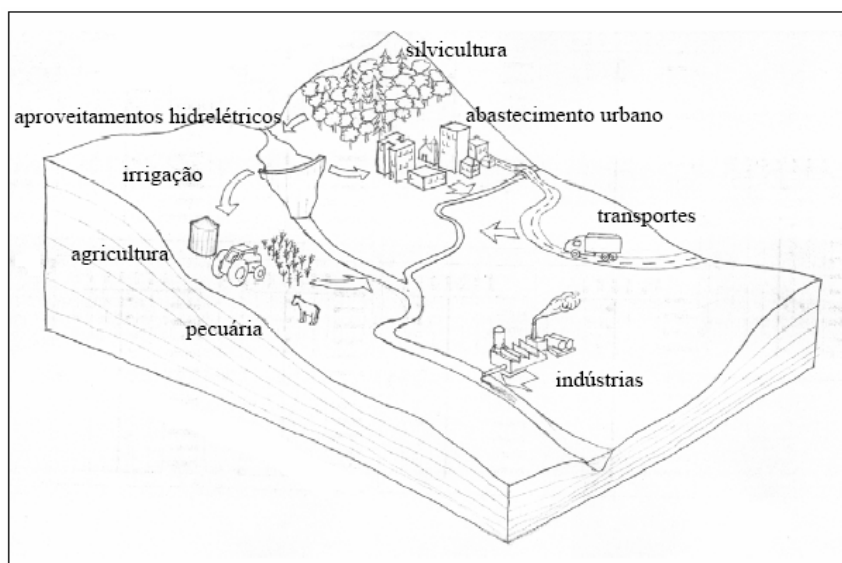


Figura 3.1 – Atividades potencialmente poluidoras em uma bacia hidrográfica
Fonte: Adaptado de LARENTIS, 2004.

A bacia hidrográfica, como unidade natural da paisagem, vem demonstrando cada vez mais sua condição singular e muito conveniente de definição espacial de um ecossistema, dentro da qual é possível o estudo detalhado das interações entre o uso da terra e a qualidade da água.

O estudo do uso e ocupação da terra e suas relações com ecossistemas naturais permitem a realização de um diagnóstico ambiental de uma bacia hidrográfica. Assim, a implantação do processo de monitoramento ambiental através de um SIG (Sistema de Informação Geográfica) é capaz de dar suporte às análises interativas envolvendo variáveis bióticas, físicas e sócio econômicas (ROSENDO et al, 2004).

3.3 Materiais e Procedimentos Metodológicos

3.3.1 Materiais

3.3.1.1 Documentos

- Folhas topográficas de Camobi, Santa Maria, Arroio Guassupi e Val de Serra fornecidas pelo Exército na escala de 1:50.000.
- Imagens do sensor CBERS-CCD, de 26/10/2006, no formato digital, composição 3B4R2G.

3.3.1.2 Softwares

- IDRISI 32 - é um sistema de informação geográfica que serve para processamento de imagens, desenvolvido pela *Graduate School of Geography da Clark Universit*, baseado no formato raster de representação de dados, foi desenvolvido para microcomputadores. Sendo utilizado na funcionalidade analítica raster e cobre todo o espectro de necessidades de SIG e de sensoriamento remoto, desde consulta a banco de dados e modelagem espacial até realce e classificação de imagens (EASTAM, 1998).

3.3.2 Procedimentos Metodológicos

Para alcançar os objetivos propostos na pesquisa e seu desenvolvimento utilizou-se técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, bem como campanhas a campo.

3.3.2.1 Uso da Terra

O mapa de uso foi elaborado no Idrisi 32, utilizando a imagem CBERS 2-CCD. Primeiramente, fez-se o georreferenciamento das bandas, com o comando “Resample” pertencente ao módulo “Reformat”. O georreferenciamento da imagem CBERS 2-CCD foi executado através da identificação de pontos de controle na imagem digital, visualizada no monitor do computador, e posterior localização dos mesmos nas cartas topográficas, tendo sido selecionados 20 pontos de controle. Após a seleção dos pontos de controle nas cartas topográficas e nas imagens, os mesmos foram transferidos para um banco de dados no software, etapa que compreendeu a correção geométrica através de um modelo linear, com a utilização de um polinômio de 1º grau, e técnica de reamostragem por vizinho mais próximo. A correção geométrica da imagem consistiu na associação das coordenadas da imagem (linha e coluna), com as coordenadas geográficas (latitude e longitude) adquiridas através de mapas topográficos na escala 1:50.000 do IBGE.

Em seqüência, foi realizada a conversão dos limites de cada sub-bacia de vetor para raster, para assim realizar o recorte das bandas com os limites por meio do comando “Overlay” pertencente ao módulo “GIS Analysis/Database Query”. Sendo realizada em seguida a composição colorida de cada sub-bacia utilizando-se o comando “Composite” do módulo “Image Processing/Enhancement”.

Para a elaboração dos mapas de Uso e Cobertura da Terra, foi realizada a classificação supervisionada da imagem. Foram coletadas, para cada classe de uso áreas de treinamento, sendo que para cada sub-bacia foi criado um arquivo vetorial e para cada classe de uso foram atribuídos identificadores. A digitalização das áreas ocorreu por meio do comando “Digitize”. Após o reconhecimento de todas as classes, foram criados os arquivos de assinaturas pelo comando “Makesig” do módulo “Image Processing/Signature Development”. Com o comando “Maxlike” pertencendo ao módulo “Image Processing/Hard classifiers”, foi realizada a classificação por máxima verossimilhança, sendo assim, elaborado o pré-mapa. Os

trabalhos de campo serviram de suporte para a conferência dos atributos espaciais e a elaboração do mapa final de Uso e Cobertura da Terra.

3.4 Análise dos Resultados

3.4.1 Mapas de Uso e Cobertura da Terra

Como resultados foram gerados mapas de uso e cobertura da terra e índice de vegetação, para avaliar o grau de deterioração das sub-bacias (SB). Como se observa na Figura 3.3, e na Tabela 3.1, a sub-bacia do arroio Cadena é a mais urbanizada abrangendo 62,40% de sua área. Na área urbana o arroio se encontra bastante poluído, pois são despejados dejetos e lixos (Figura 3.2 (a)) em quase toda a sua extensão, não se respeitando os limites da área de preservação permanente (APP). Nos locais onde o Cadena não foi canalizado, existem construções nas margens (Figura 3.2(b)), as quais são ocupadas por uma pequena porcentagem de vegetação (Figura 3.2(c)), nas áreas de rebordo e depressão são encontradas áreas florestadas, campos e vegetação de pequeno porte (Figura 3.2(d)), que ocupam pouco mais de 16% da área da sub-bacia.

A sub-bacia do arroio Cadena não possui altas declividades, por isso a ocupação tão intensa por atividades antrópicas.



Figura 3.2 – Tipos de uso na sub-bacia do Arroio Cadena

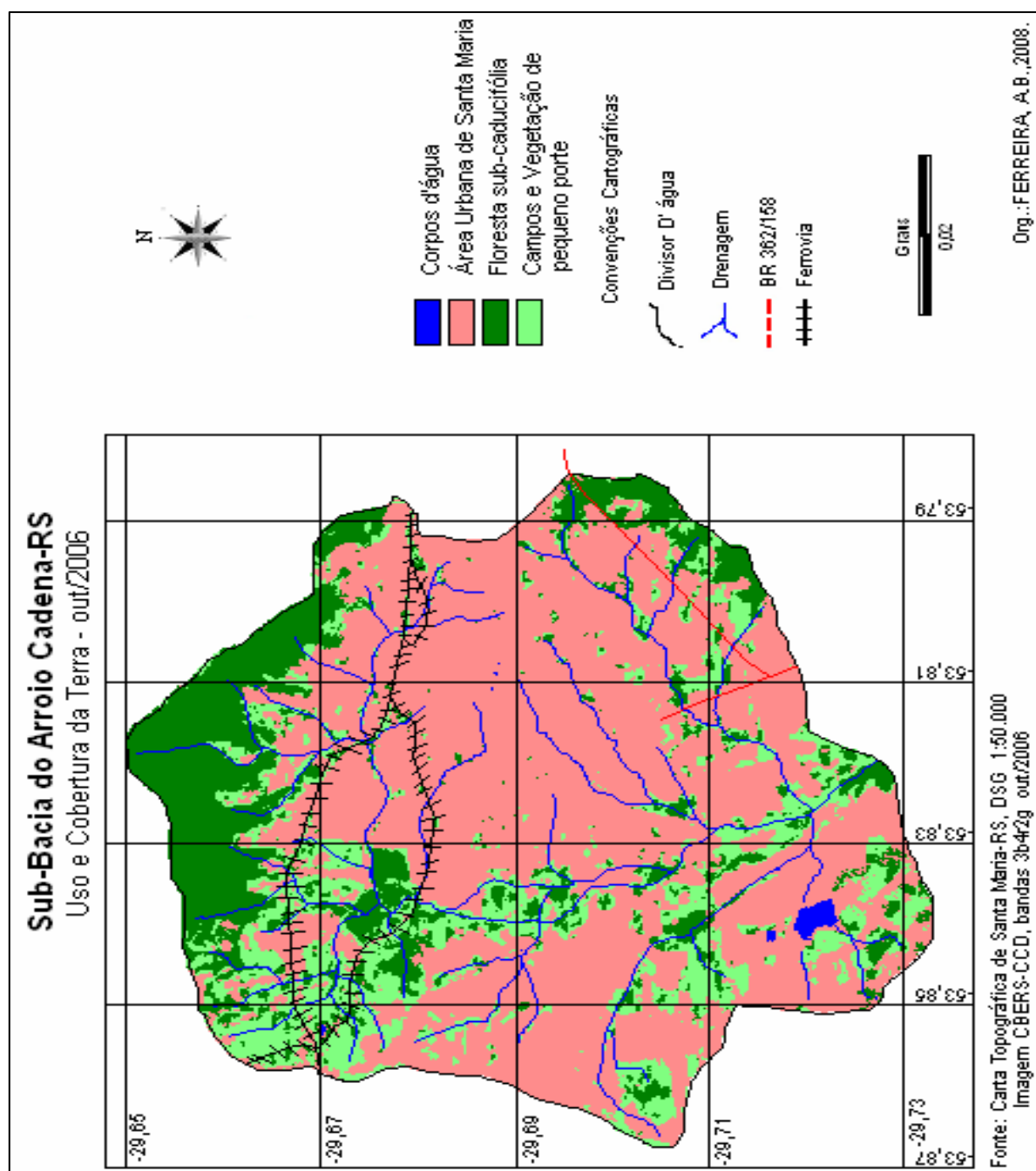


Figura 3.3 –Uso e Cobertura da Terra da Sub-bacia do Arroio Cadena

A sub-bacia do Rio Vacacaí-Mirim (Figura 3.5), possui cerca de 22,44% de sua área inserida na área urbana de Santa Maria. E cerca de 55% da área é ocupada por florestas e campos, como pode ser observado na Tabela 3.1.

O leito do rio se encontra bastante deteriorado, devido à prática inadequada da agricultura e o crescimento urbano de Santa Maria (Figura 3.4), o que leva a contaminação por meio de esgoto e lixo jogados na água, onde há urbanização.

O uso inadequado de fertilizantes contribui também para a poluição da água do rio. O nível do rio também sofre com a prática da cultura, principalmente de arroz, pois ao longo de seu leito são encontradas bombas para a captação de água para a irrigação, nos meses de verão, época em que o volume de água se encontra baixo devido às estiagens. Esse uso intensivo das terras nas margens do rio Vacacaí-Mirim, além de ocasionar erosão e assoreamento, também contribui para a deposição de sólidos no fundo do vale.

A sub-bacia possui uma declividade relativamente alta a montante, fato pelo qual ainda se tem grandes áreas preservadas. Nas áreas de baixa declividade são encontradas áreas de pasto e agricultura, que ocupam pouco mais de 21% (Tabela 3.1) da área total da sub-bacia.

A SB do rio Vacacaí-Mirim, também é responsável pelo abastecimento de água equivalente a 40% dos domicílios comerciais e residenciais da cidade de Santa Maria, por meio da Barragem do DNOS.

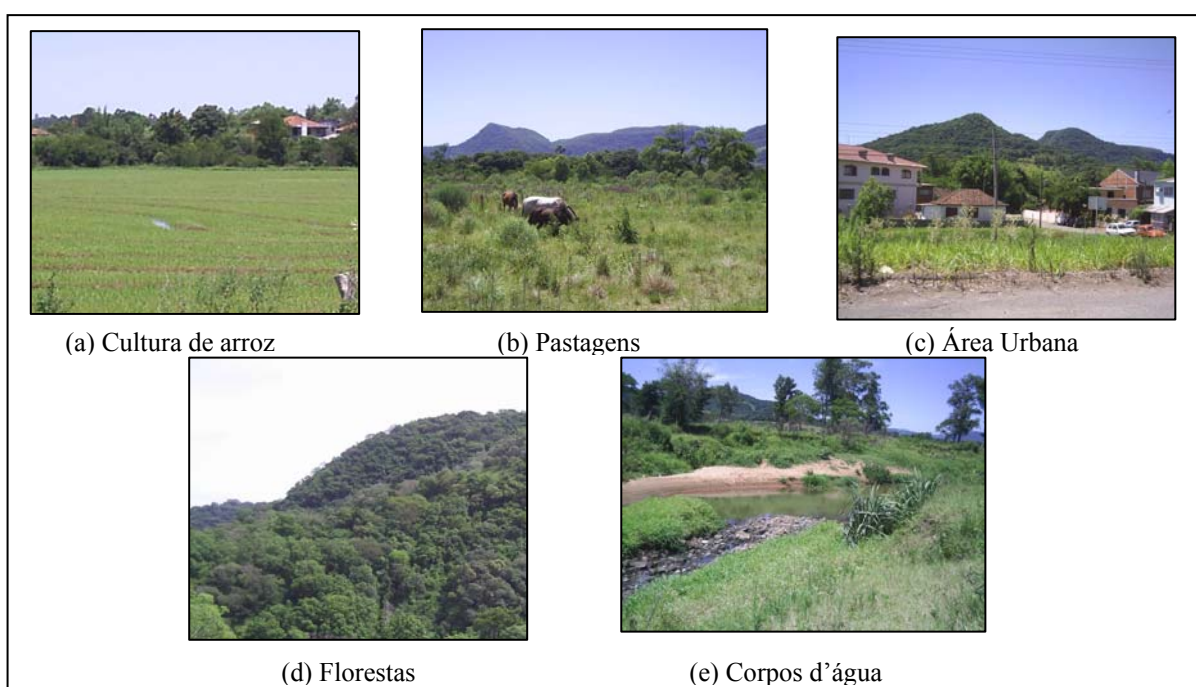


Figura 3.4 - Tipos de uso na sub-bacia do Rio Vacacaí-Mirim

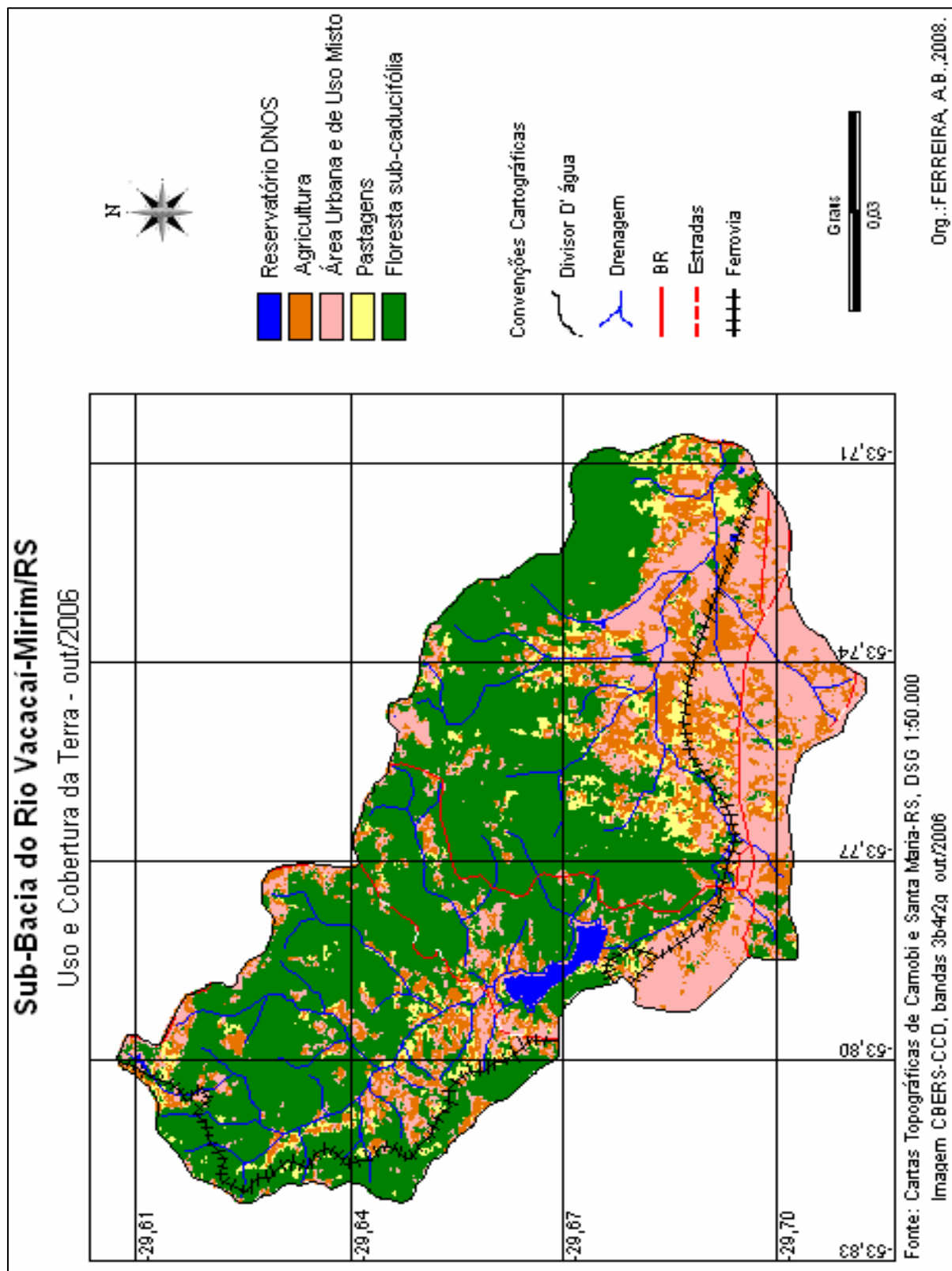


Figura 3.5 - Uso e Cobertura da Terra da Sub-bacia do Rio Vacacai-Mirim

As áreas agrícolas ocupam cerca de 29,03% (Tabela 3.1) da área total da sub-bacia do rio Ibicuí-Mirim (Figura 3.7 e Tabela 3.1), e predominam entorno do reservatório, o qual deveria estar protegido por áreas de vegetação.

As áreas agrícolas passam por modificações durante o ano, dentre essas se encontra a fase em que o solo se encontra exposto, o qual sofre remoção, levando ao depósito de sólidos no fundo do vale nas proximidades das áreas ocupadas por práticas agrícolas.

As áreas de florestas que representam aproximadamente 35,41% (Tabela 3.1) da área da sub-bacia se encontram mais na parte sul, ou seja, a jusante, fato este ocasionado pelas altas declividades no local, o qual impede o manejo agrícola.

Os principais usos identificados na sub-bacia do rio Ibicuí-Mirim podem ser visualizados na Figura 3.6

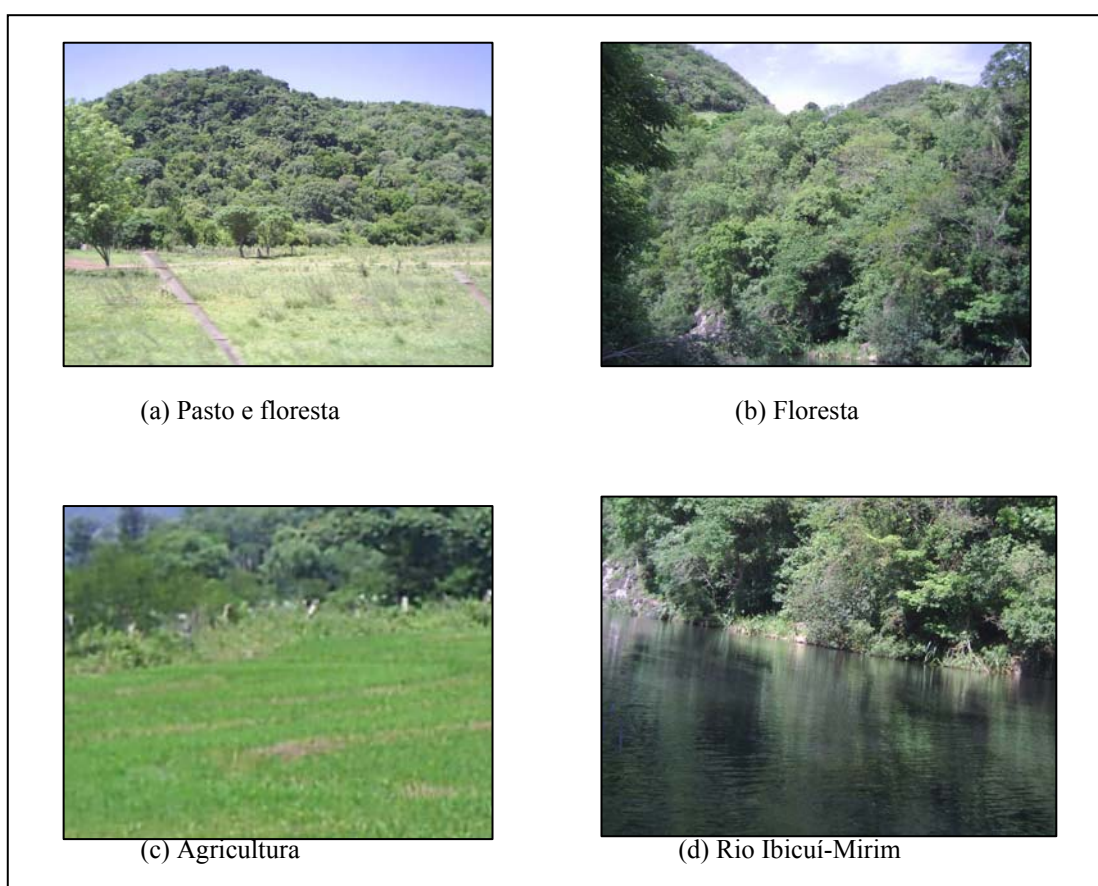


Figura 3.6 - Tipos de uso na sub-bacia do Rio Ibicuí-Mirim

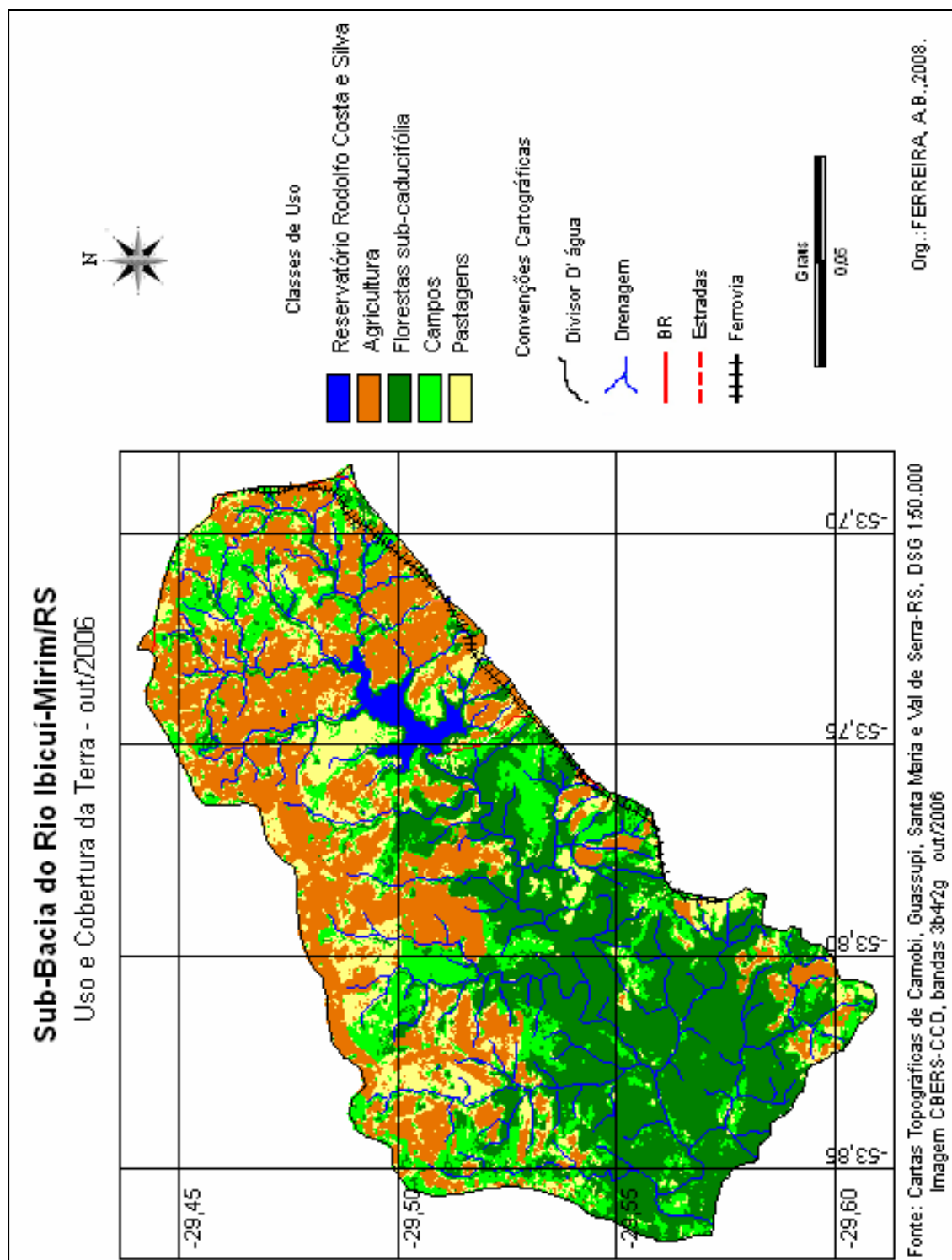
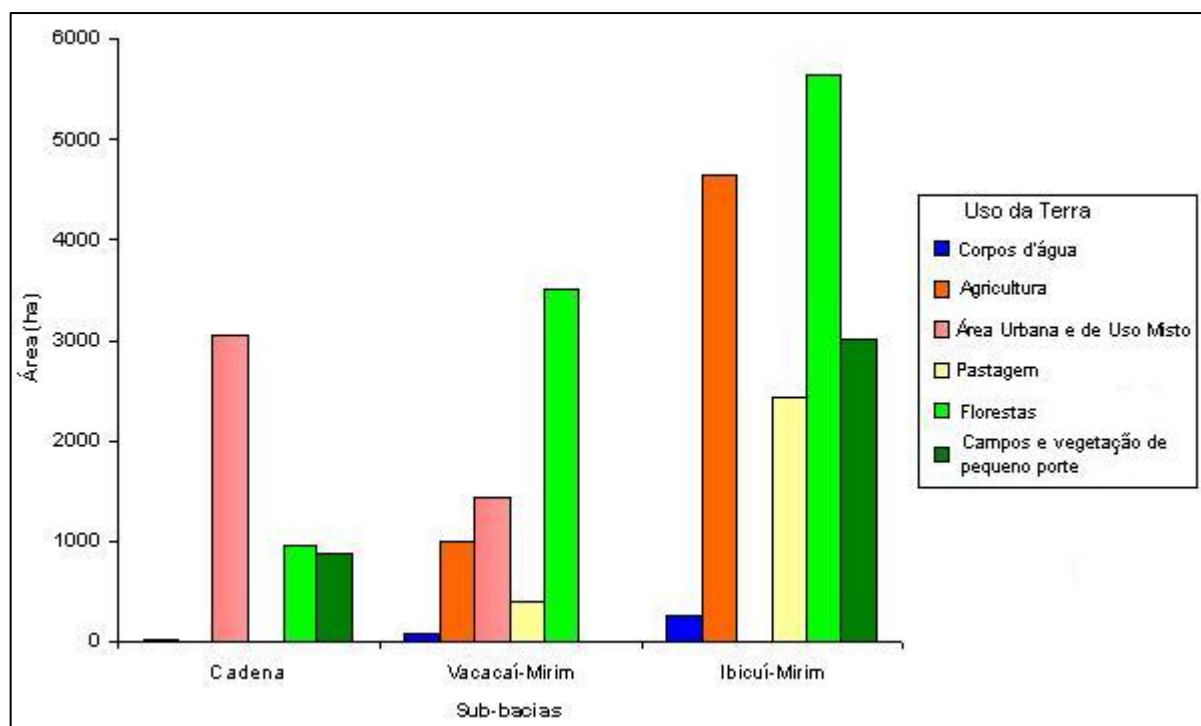


Figura 3.7 - Uso e Cobertura da Terra da Sub-bacia do Rio Ibicuí-Mirim

Tabela 3.1 - Área ocupada pelas diferentes categorias de uso da terra, 2006.

Categorias	Cadena			Vacacaí-Mirim			Ibicuí-Mirim		
	Área			Área			Área		
	ha	Km ²	%	ha	Km ²	%	ha	Km ²	%
Corpos d'água	17,12	0,1712	0,30	60,04	0,6004	0,94	244,00	2,4400	1,53
Agricultura	-	-	-	984,52	9,8452	15,47	4632,56	46,3256	29,03
Área Urbana e Uso Misto	3046,76	30,4676	62,40	1429,08	14,2908	22,44	-	-	-
Pastagens	-	-	-	385,64	3,8564	6,06	2426,36	24,2636	15,21
Florestas sub-caducifolia	950,920	9,5092	19,50	3507,72	35,0772	55,09	5649,24	56,4924	35,41
Campos e Vegetação de pequeno porte	868,60	8,6860	17,80	-	-	-	3003,12	30,0312	18,82
Total	4883,40	48,8640	100	6367,39	63,6739	100	15955,28	159,5528	100

**Figura 3.8** – Uso da terra nas Sub-bacias hidrográficas

Os estudos morfométricos são instrumentos básicos para o desenvolvimento de planos de gestão que visem à utilização racional do meio ambiente e a compreensão dos processos naturais atuantes neste meio. As equações abaixo foram utilizadas para os cálculos 1- densidade de drenagem, 2- declividade média da bacia, 3-coeficiente de rugosidade das sub-bacias do arroio Cadena e dos rios Vacacaí-Mirim e Ibicuí-Mirim (Figura 3.9) :

Equação 1 - Densidade de drenagem:

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (3.1)$$

Equação 2 - Declividade média da sub-bacia:

$$H = \frac{(Cn * h)}{A} * 100 \quad (3.2)$$

Equação 3 – Coeficiente de rugosidade:

$$RN = Dd * H \quad (3.3)$$

Onde:

Lt = soma dos comprimentos dos canais (em Km)

Cn = soma, em Km, dos comprimentos de todas as curvas de nível;

h = equidistância, em Km, entre as curvas de nível

A = área da sub-bacia em ha.

Como se pode observar na Figura 3.9 (b), as maiores densidades de drenagens são encontradas nas SB do rio Ibicuí-Mirim (0,01566 km/ha) e do arroio Cadena (0,01555 km/ha), por apresentar maior densidade de drenagem e conseqüentemente menor transmissibilidade (medida da permeabilidade do terreno), possui maior suscetibilidade a erosão e maior potencial dispersor da contaminação nas águas superficiais, no caso da sub-bacia do arroio Cadena, como já foi mencionado este fato ocorre por está se localizar na área urbana de Santa Maria.

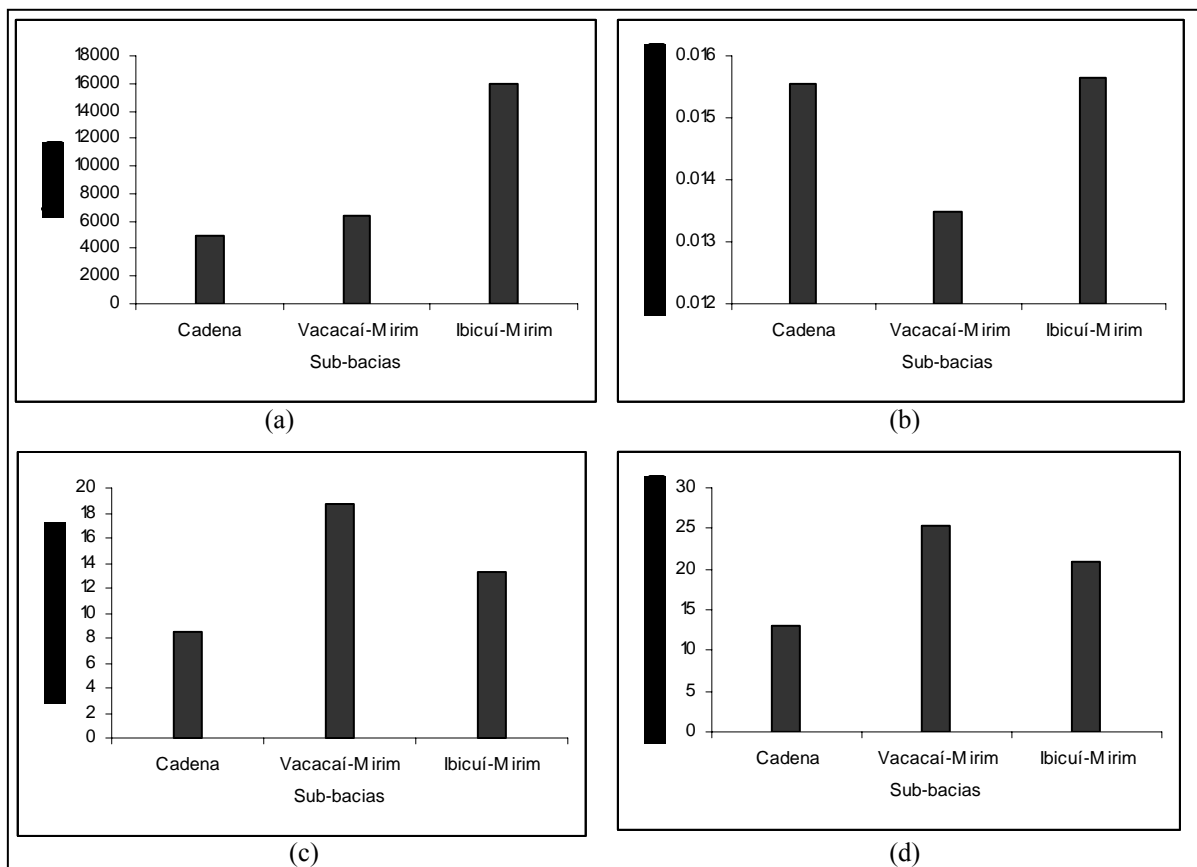


Figura 3.9 – Informações espaciais e morfométricas das Sub-bacias

Quanto à declividade média, na SB do arroio Cadena está é inferior a 10% (8,73%), caracterizando um relevo plano a ondulado (Figura 3.9 (c)), o que propiciou a intensa ocupação urbana nessa área.

A SB do rio Vacacaí-Mirim por possuir declividade média relativamente alta (18,70%) e um elevado coeficiente de rugosidade (25,22), se apresenta mais susceptível aos processos erosivos.

Fatores antrópicos como a urbanização e a agricultura podem provocar consideráveis alterações na Dd principalmente. As características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo refletem algumas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio das águas das chuvas, e expressam estreita correlação com a estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre. Portanto, estão entre as classes de informações morfológicas que determinam diferenças essenciais entre distintas paisagens.

3.5 Conclusão

Os resultados apresentados na forma de mapas temáticos uso da terra e índice de vegetação permitiram o conhecimento do meio físico das três sub-bacias analisadas, bem como dos processos dinâmicos que podem contribuir para um melhor ordenamento do uso da terra. Como observado nos mapas de uso da terra, as SB do arroio Cadena e do rio Vacacaí-Mirim, apresentam poucas áreas florestadas as suas margens principalmente nos pontos de coleta.

É importante salientar que o Geoprocessamento e o SR permitiram coletar e analisar a informação muito rapidamente. Logo, estas tecnologias podem ser vistas como integradoras que auxiliam os geógrafos na análise de sistemas naturais e sociais, servindo de instrumento eficiente para todas as áreas do conhecimento que fazem uso de mapas, possibilitando, então, integrar em uma única base de dados informações representando vários aspectos do estudo de uma região e gerando novos tipos de informações.

O processo de classificação supervisionada apresenta vantagens e desvantagens. As principais vantagens são: a) O analista tem maior controle sobre o processo (determina o número e o tipo de classes, as regiões de amostragem e o número de amostras). Esta característica é importante principalmente quando a classificação visa a um objetivo específico; b) a classificação supervisionada é demarcada pelas classes pré-definidas pelo analista, desta forma, não é necessário concatenar a imagem classificada com as classes de interesse; e c) o analista tem condições de identificar possíveis imprecisões graves pela análise das áreas de treinamento.

As principais desvantagens são: a) O analista impõe uma determinada estrutura de classificação aos dados, através da definição prévia das classes de informação. Estas classes podem não corresponder às classes reais existentes na cena imageada, ou não serem separáveis no espaço n-dimensional; e b) As áreas de treinamento selecionadas podem não apresentar todas as características das classes que representam. Esta característica pode ter muita influência, principalmente quando a área a ser classificada é grande, complexa ou inacessível (CAMPBELL, 1996).

O estudo do meio físico, especialmente ao nível de bacias hidrográficas, ganha relevância significativa no planejamento da ocupação de novas áreas, ou na reestruturação de áreas antigas, considerando as demandas ambientais naturais da área e seus limites de utilização.

Os resultados encontrados permitiram concluir que a metodologia utilizada para o levantamento do meio físico foi satisfatória, atendendo à primeira proposta da pesquisa.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISE DAS VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS

4.1 Introdução

A água no planeta Terra é a essência da vida, dominando por completo a composição química de todos os organismos. Como é um solvente universal, possui uma extraordinária capacidade em dissolver sais minerais, permitindo que a flora e a fauna tenham uma fonte de nutrientes assimiláveis, sem a qual a complexa vida sobre a Terra seria inviável (LAGE FILHO, 1996).

Vários campos do conhecimento tratam da água na superfície em função de seu uso como Engenharia Hidráulica, Engenharia Sanitária, Limnologia, Engenharia Agrícola, entre outros (SOARES, 2006). Contudo, nesta pesquisa trataremos apenas dos estudos limnológicos. A limnologia (do grego, limne - lago e logos - estudo) é a ciência que estuda as águas continentais, independente da concentração de sais, em relação aos fluxos de matéria e energia e suas interações com a comunidade biótica (POMPÊO; CARLOS, 2004). Uma das preocupações da limnologia atual é a conservação dos sistemas aquáticos continentais, prevendo a utilização racional com o controle da qualidade e quantidade da água (ESTEVES, 1998). Portanto com a identificação das áreas que podem apresentar deterioração seu monitoramento será facilitado.

Muitas atividades vêm provocando impactos ambientais negativos nas águas superficiais. Os efeitos destas atividades podem estar representados por modificações na quantidade e/ou qualidade das águas, produzindo alterações no sistema aquático. Pode-se destacar exemplos de atividades que provocam impactos negativos: projetos de exploração de minas a céu aberto, que ocasionam mudanças na hidrologia superficial e contaminação difusa; construção de barragens para abastecimento de água ou produção de energia elétrica; e desmatamentos e desenvolvimento agrícola que dão como resultados uma contaminação difusa por excesso de nutrientes e pesticidas que são carregados para o leito dos rios ou lagos, assim como o forte assoreamento que é produzido por estas práticas quando não se leva em conta o manejo adequado para cada uma destas atividades.

Assim, este Capítulo tem por finalidade, apresentar como os dados limnológicos foram submetidos à análise, sendo realizada inicialmente uma revisão dos principais conceitos e ferramentas utilizadas para se chegar aos objetivos propostos anteriormente.

As variáveis limnológicas analisadas foram: transparência da água, total de sólidos em suspensão (TSS), total de sólidos dissolvidos (TDS), temperatura da água e do ar, pH e condutividade elétrica (CE).

4.2 Fundamentação Teórica

4.2.1 Sistemas Aquáticos

Segundo Esteves (1998), a água constitui um dos componentes de maior distribuição e importância na crosta terrestre. Sua acuidade para a vida está no fato de que nenhum processo metabólico ocorre sem a sua ação direta ou indireta. Foram suas propriedades anômalas, comparando com outros compostos, que possibilitaram o surgimento e a manutenção da vida na Terra. A água no estado líquido possui maior densidade do que no estado sólido (gelo), fato este de grande significado para a distribuição dos organismos aquáticos. Isto porque se o gelo não flutuasse na água, os lagos e rios de regiões frias se congelariam totalmente durante o inverno, o que provocaria a morte de todos os organismos.

A água é um alimento que, embora não tenha valor energético, contribui fundamentalmente para a edificação do organismo, fazendo parte da composição celular de maneira preponderante, constituindo cerca de 2/3 do peso corporal do homem. Muitos dos compostos minerais ou elementos químicos que se encontram dissolvidos nas águas naturais constituem fatores de grande importância fisiológica, seja como nutrientes ou como mantenedores do equilíbrio físico-químico do meio interno (BRANCO, 1986).

Os ambientes lóticos se constituem por serem caracterizados, especialmente pela presença de correnteza. Além disso, não chegam, em condições naturais, a possuir concentrações tão elevadas de substâncias nutritivas quanto os lagos, que têm possibilidade de concentrá-las. Por outro lado, são eles especialmente suscetíveis às influências do meio e, por essa razão, de características muito variáveis. As fontes que podem dar origem a um rio são: glaciários, fusão da neve, nascentes, drenagem direta de chuvas.

O tamanho e a declividade de um rio determinam a velocidade de sua corrente que é o mais importante fator ecológico. A velocidade está sujeita a grandes variações, de acordo com

o volume de água e, portanto, as variações estacionais. Quanto à velocidade, os rios são classificados em “lentos” quando esta é menor que 0,5 m por segundo e “rápidos” quando maior (BRANCO,1986).

Os aspectos climatológicos de uma região influenciam diretamente o corpo d’água, provocando sensíveis alterações no seu metabolismo. Num período de maior precipitação pode ocorrer um aumento na turbidez em função do grande aporte de material que é carregado pelas chuvas para o corpo d’água em questão. O vento por sua vez pode provocar uma mistura na água, ocasionando uma ressuspensão de nutrientes das partes mais profundas. As variáveis climatológicas podem ser obtidas através de aparelhos como o pluviômetro (precipitação), termômetro, anemômetro (vento) e luxímetro ou actinógrafo (radiação solar). Uma solução prática na falta destes materiais é a obtenção dos dados numa estação climatológica próxima ao local de estudo.

4.2.2 Transparência da Água

A transparência da coluna d’água pode variar desde alguns centímetros até dezenas de metros. Essa região da coluna d’água é denominada zona eufótica e sua extensão depende, principalmente, da capacidade do meio em atenuar a radiação subaquática. Do ponto de vista óptico, a transparência da água pode ser considerada o oposto da turbidez. A transparência da água pode ser avaliada através de medições de profundidade do disco de Secchi que possui de 20 a 30 cm e é fixado a uma corda graduada (CETESB, 1987; Esteves, 1998). As medições são realizadas num local sem sombra. Este método embora bastante simples, também pode ser utilizado para analisar o coeficiente de atenuação REM na coluna d’água, estabelecendo com alguma limitação a correspondência entre a transparência da água, a profundidade Secchi e o limite da zona eufótica (KIRK, 1994).

4.2.3 Total de Sólidos Dissolvidos (TDS)

Uma variável limnológica também importante nos sistemas aquáticos é o total de sólidos dissolvidos, pois exerce influência no metabolismo e é determinante para que a água seja própria para o consumo humano, pois elevadas concentrações a torna imprópria. Alguns

sólidos em altas concentrações como os sulfetos e cloretos, podem causar corrosão e danificar o sistema aquático (STRASSBURGER, 2005).

Segundo BRASIL/CONAMA, (1986), a variável “total de sólidos dissolvidos” deve ser de até 500mg/L, quando forem amostras de “água doce” para abastecimento doméstico/humano sem ou com simples desinfecção e também para proteção das comunidades aquáticas. Souza (2001), também faz considerações sobre as concentrações de sólidos dissolvidos, segundo ele concentrações maiores que 400mg/L tornam a água imprópria para o consumo, não podendo exceder 500mg/L.

4.2.4 Total de Sólidos em Suspensão (TSS)

A turbulência da água ocasiona a ascendência e descendência das partículas em suspensão e são depositadas de acordo com seu peso específico, a capacidade e a competência de um rio. Sólidos em suspensão são constituintes que ocasionam, principalmente, o efeito de espalhamento da radiação na sub-superfície dos corpos d’água. Esta relação tem sido aplicada aos dados de SR para estimar a distribuição espacial de concentração de sólidos em suspensão sobre águas costeiras e continentais, como reservatórios, lagos e grandes rios. Este tipo de informação oferece subsídios ao gerenciamento da qualidade da água, o monitoramento da poluição e a modelagem da taxa de transporte de sólidos.

O carreamento de partículas orgânicas e inorgânicas, provenientes do ambiente terrestre pelo escoamento superficial, para sub-bacias, tem como resultado o TSS (WACHHOLZ, 2007). O aumento de sólidos e material sólido é extremamente significativo em áreas de ocupação antrópica nas bacias, devido a fatores como a limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias, práticas agrícolas, entre outras causas.

O estudo das características dos sólidos apresenta importante papel no entendimento de ecossistemas aquáticos. Os sólidos apresentam grande concentração de nutrientes passíveis de troca com o meio. Frequentemente, as maiores taxas de liberação de nutrientes do sedimento para a coluna de água ocorrem quando a parte inferior desta se encontra com baixas concentrações de oxigênio, ou mesmo anaeróbica, fato este observado principalmente para o elemento fósforo (ESTEVES, 1998; DE FELIPPO et al., 1999).

Esteves (1998) destaca que na maioria dos ecossistemas aquáticos continentais o sedimento é a fração que apresenta maior concentração de nutrientes.

4.2.5 Temperatura

Nos ecossistemas aquáticos continentais, a quase totalidade da propagação do calor ocorre por transporte de massa d'água, sendo a eficiência deste em função da ausência ou presença de camadas de diferentes densidades. O vapor de água presente na atmosfera altera as propriedades térmicas do ar. Portanto, quanto maior for a umidade relativa do ar, maior será a capacidade térmica por unidade de volume de ar e maior será a tensão do vapor de água no meio. Por isso, em regiões frias e úmidas, a umidade confere uma sensação mais intensa ao frio, pois o equilíbrio térmico só se faz com uma maior transferência de calor para o meio (GARCIA, 2000).

Segundo Branco (1986); Moraes (2001) a distribuição do calor em um lago não é uniforme. A existência do fenômeno de estratificação térmica faz com que se reconheçam, nos lagos, camadas diferentes quanto as suas características físicas, e mesmo químicas, durante certos períodos do ano. Assim, pode-se reconhecer, em certos períodos do ano, uma camada superficial com temperatura relativamente uniforme (epilímnio), uma camada intermediária (metalímnio) na qual se pode notar uma brusca queda de temperatura (também definida como termoclina), e uma camada profunda (hipolímnio), em que as variações voltam a ser moderadas.

A temperatura superficial da água é influenciada por alguns fatores, tais como: latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. A elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais (indústrias canavieiras, por exemplo) e usinas termoelétricas. A temperatura desempenha um papel importante de controle no meio aquático, condicionando as influências de uma série de parâmetros físico-químicos. Em geral, à medida que a temperatura aumenta de 0 a 30°C, a viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam as solubilidades com a elevação da temperatura (CETESB, 2001).

Em lagos que apresentam temperaturas uniformes em toda a coluna, a propagação do calor através de toda a massa líquida pode ocorrer de maneira bastante eficiente, uma vez que a densidade da água nessas condições é praticamente igual em todas as profundidades, sendo o vento o agente fornecedor da energia indispensável para a mistura das massas d'água (DEBERDT, 2000).

Por outro lado, quando as diferenças de temperatura geram camadas d'água com diferentes densidades, que em si já formam uma barreira física, impedindo que se misturem, e

se a energia do vento não for suficiente para misturá-las, o calor não se distribui uniformemente, criando a condição de estabilidade térmica. Quando ocorre este fenômeno, o ecossistema aquático está estratificado termicamente. Os estratos formados freqüentemente estão diferenciados física, química e biologicamente.

Para as medidas de temperatura, podem ser utilizados termômetros simples de mercúrio ou aparelhos mais sofisticados como o "Termistor", que pode registrar diretamente a temperatura das várias profundidades na coluna d'água. Estas medidas devem ser realizadas no próprio local de coleta (DEBERDT, 2000).

A diferença de temperatura entre a camada de ar que se acha em contato imediato com a superfície de um corpo d'água e a massa d'água, constitui condição necessária e suficiente para que se verifiquem trocas de calor entre ambas (BRANCO, 1986).

4.2.6 Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica é uma das mais importantes entre as variáveis limnológicas, pois muitas vezes ela, representa integração do ambiente terrestre com o aquático (PEREIRA FILHO, 2000).

Segundo Esteves (1998), a CE em ambientes aquáticos é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. Em águas continentais, os íons diretamente responsáveis pelos valores da condutividade são, entre outros, o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, carbonatos, carbonetos, sulfatos e cloretos.

Por meio da medida da condutividade podem-se detectar fontes poluidoras nos sistemas aquáticos, uma vez que valores elevados podem indicar poluição. Portanto é uma maneira de avaliar a disponibilidade de nutrientes nos ecossistemas aquáticos (MORAES, 2001). Também pode fornecer informações sobre o metabolismo do ecossistema aquático (principalmente aqueles derivados das atividades humanas) que ocorrem em sua bacia de drenagem. Assim a influência direta e indireta das atividades antrópicas desenvolvidas nas bacias, tais como lançamentos de efluentes domésticos e industriais e atividades agropastoris nos recursos hídricos (lagos, reservatórios, rios), pode ser avaliada mais facilmente quando se dispõe de dados sobre a condutividade elétrica da água, uma vez que o resultado da poluição pode ser detectado pelo aumento desta condutividade no curso d'água.

A condutividade elétrica da água pode variar de acordo com a temperatura e a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas. Em águas cujos valores de pH se localizam nas faixas extremas ($\text{pH} > 9$ ou $\text{pH} < 5$), os valores de condutividade são devidos apenas às altas concentrações de poucos íons em solução, dentre os quais os mais frequentes são o H^+ e o OH^- . A sua determinação pode ser feita através do método eletrométrico, utilizando-se para isso um condutivímetro digital.

4.2.7 pH

Conforme Deberdt (2000), o termo pH (potencial hidrogeniônico) é usado universalmente para expressar o grau de acidez ou basicidade de uma solução, ou seja, é o modo de expressar a concentração de íons de hidrogênio nessa solução. A escala de pH é constituída de uma série de números variando de 0 a 14, os quais denotam vários graus de acidez ou alcalinidade. Valores abaixo de 7 e próximos de zero indicam aumento de acidez, enquanto valores de 7 a 14 indicam aumento da basicidade.

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Desta forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, de acordo com a legislação federal (Resolução nº 20 do CONAMA, de junho de 1986). Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9. Nos ecossistemas formados nos tratamentos biológicos de esgotos, o pH é também um fator que influi decisivamente no processo de tratamento. Normalmente a condição de pH que corresponde à formação de um ecossistema mais diversificado e a um tratamento biológico mais estável é a de neutralidade, tanto em meios aeróbios como nos anaeróbios.

Segundo Moraes (2001), o pH da água é influenciado pela concentração de íons H^+ originados da dissociação do ácido carbônico, que gera valores baixos de pH e pelas reações de carbonatos e bicarbonatos com a molécula de água, que elevam os valores de pH.

As medidas de pH são de extrema utilidade, pois fornecem inúmeras informações a respeito da qualidade da água. Às águas superficiais possuem um pH entre 4 e 9. As vezes são ligeiramente alcalinas devido à presença de carbonatos e bicarbonatos. Naturalmente, nesses casos, o pH reflete o tipo de solo por onde a água percorre. Em lagoas com grande população de algas, nos dias ensolarados, o pH pode subir muito, chegando a 9 ou até mais. Isso porque as algas, ao realizarem fotossíntese, retiram muito gás carbônico, que é a principal fonte

natural de acidez da água. Geralmente um pH muito ácido ou muito alcalino está associado à presença de despejos industriais. A determinação do pH é feita através do método eletrométrico, utilizando-se para isso um peagômetro digital.

4.3 Materiais e Procedimentos Metodológicos

4.3.1 Materiais

4.3.1.1 Equipamentos utilizados na coleta de campo

- Termômetro;
- Disco de Secchi;
- Recipientes de 2000 ml.

4.3.1.2 Equipamentos utilizados em laboratório

- Filtro de celulose2 (Marca Millipore - HAWG047S0) constituído por membranas HA em Ester de Celulose com poros de 0,45 µm e diâmetro de 47 mm (Millipore, 2006);
- Balança micro-analítica digital marca Mettler Toledo - modelo AG 245 (acurácia 0,0001 g);
- Estufa marca Fanem;
- Peagômetro Sensoglass;
- Condutivímetro ORION 515.

4.3.2 Procedimentos Metodológicos

4.3.2.1 Variáveis identificadas em campo

As coletas dos dados foram realizada entre 13:30 e 16:00, três vezes na semana. Para cada sub-bacia foi escolhido um ponto de coleta (Figura 4.1), nos quais foram realizadas dez coletas, as quais se ocorreram nos dias 21, 23, 26, 28 e 30 de novembro e nos dias 03, 05, 07,

10 e 12 de dezembro de 2007. Para identificar os pontos de coleta de água foram definidos critérios como: proximidade de áreas urbanas, áreas de campo, áreas florestadas e facilidade de chegar ao ponto amostral.

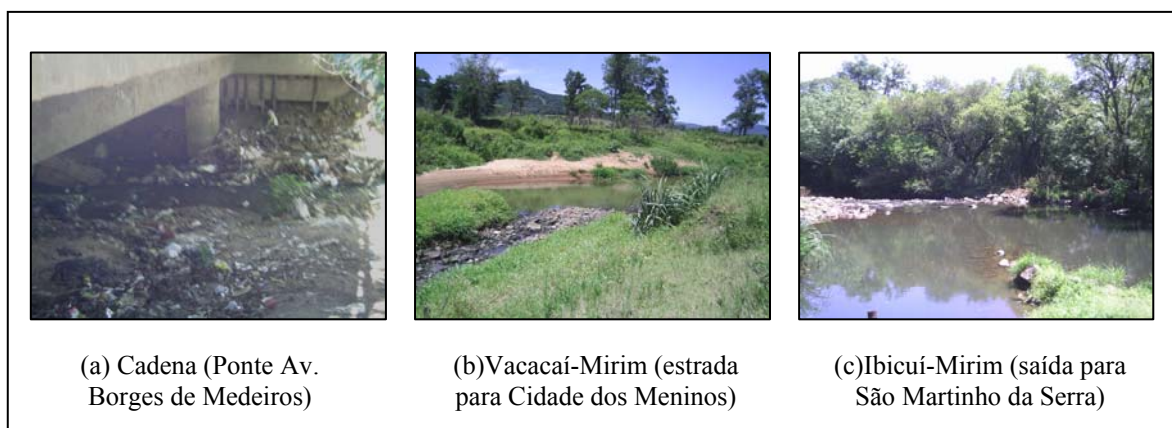


Figura 4.1 – Pontos de coleta das amostras

As variáveis identificadas foram: Condições atmosféricas e transparência da água.

- Condições Atmosféricas

As condições atmosféricas observadas em campo foram: temperatura do ar e da água, medidas com termômetro e cobertura de nuvens, observadas visualmente. Esses dados foram medidos e observados nas três áreas em estudo. A coleta das variáveis limnológicas foi realizada, das 13h30min às 16 horas. Essas informações foram complementadas com as registradas na Estação Automática de Santa Maria/INMET - Instituto Nacional de Meteorologia (Latitude: 29.7° S; Longitude: 53.7° O; Altitude: 95 metros), localizada no município de Santa Maria. Os índices de pluviosidade durante o período de coleta, também foram adquiridos, junto ao INMET. Esses dados foram relacionados com as variáveis TSS e DS;

- Transparência

A transparência da água é obtida mergulhando-se o disco de Secchi. O disco utilizado na pesquisa era branco com 25 cm de diâmetro, sendo acoplado a uma corda graduada, para que se pudesse fazer a leitura do desaparecimento do disco de Secchi - medida de

transparência - foram observadas as seguintes condições: céu claro, realização da medida sem sombra, seleção de um local de mínima agitação e observação vertical do disco (CETESB, 1987);

4.3.2.2 Variáveis identificadas em laboratório

As variáveis identificadas em laboratório foram totais de sólidos em suspensão (TSS), total de sólidos dissolvidos (TDS), condutividade elétrica e pH.

- Total de Sólidos em Suspensão (TSS)

As amostras da água coletadas em cada ponto foram acondicionadas em recipientes de 2000 ml, e conservadas em geladeira, para posteriormente ser realizada a filtração no Laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal de Santa Maria - RS. Os materiais utilizados e os procedimentos para essa variável serão descritos a seguir.

Primeiramente os filtros passaram por uma secagem inicial de 24 horas em estufa a uma temperatura de 50° C, para a perda da umidade. Em seguida fez-se a primeira pesagem para a obtenção do Peso Inicial (P_i), para que se pudesse realizar a filtração. Após a filtração, os filtros retornaram à estufa, cuja metodologia é igual ao P_i . E, com a pesagem, é obtido o Peso Final (P_f).

No processo de filtração, o filtro foi colocado na base de apoio de um funil preso por prendedor metálico e ajustado à rolha de um frasco de Kitasato, unindo a bomba de vácuo a uma torneira (Figura 4.2). O volume de água filtrado manteve-se variável em cada amostragem, como critério, considerou-se um tempo máximo de 20 minutos para a filtração de uma amostra.

Para obtenção do TSS foi utilizada a seguinte equação:

$$TSS = \frac{P_f - P_i}{V} \quad (4.1)$$

Onde:

TSS = Total de Sólidos em Suspensão;

P_f = Peso Final (mg);

P_i = Peso Inicial (mg);

V = Volume (L);

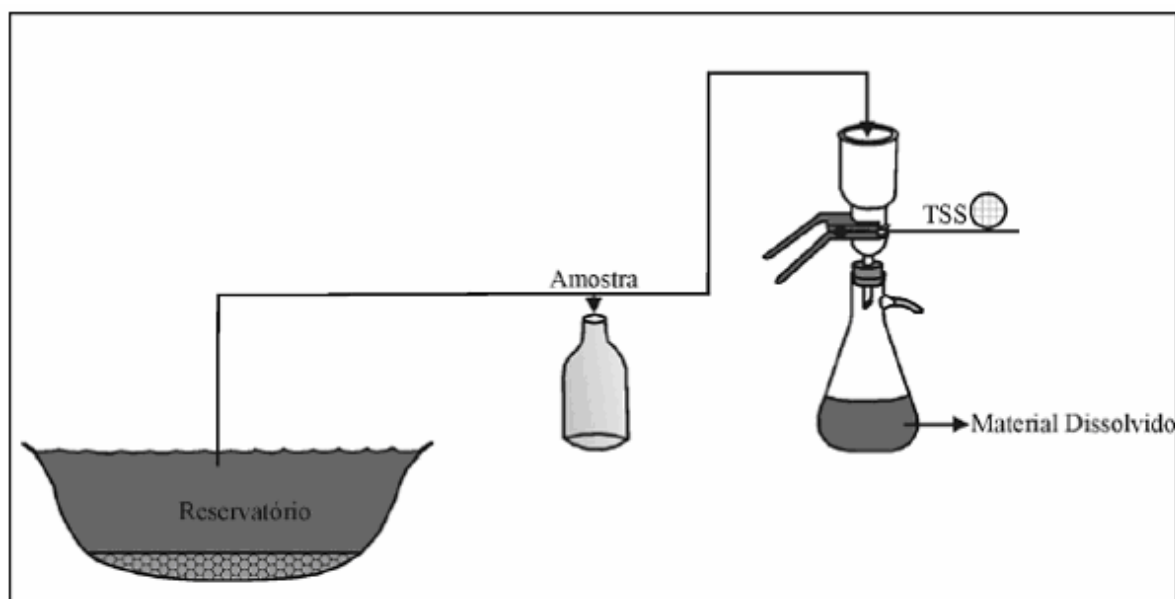


Figura 4.2 – Processo para obtenção do TSS

Fonte: Adaptado de Esteves (1998 apud Wachholz, 2007).

- Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), Condutividade Elétrica (CE) e pH

Para a obtenção do TDS e da CE foi utilizado um condutivímetro que fornece as duas variáveis e para o pH fez-se uso de um peagâmetro, ambos os aparelhos foram calibrados. O condutivímetro com uma solução de NaCl e o peagâmetro em soluções tampão de pH 4 e 7. Para as medições foram separadas 300ml de cada amostra, na qual os aparelhos foram mergulhados.

4.4 Análise Resultados

Este capítulo teve como foco principal discutir a influência das variáveis limnológicas do sistema aquático e como estas são afetadas pelo ecossistema terrestre. No Quadro 4.1, pode-se observar as precipitações ocorridas antes e durante o período de coleta das amostras. Os dados coletados (Tabela 4.1), tanto em campo quanto em laboratório foram trabalhados de forma a se obter informações sobre as características de cada sub-bacia analisada.

Dias	Precipitação (mm)	Dias	Precipitação (mm)
1/11/2007	56,8	23/11/2007*	0,4
2/11/2007	0,6	24/11/2007	4,8
3/11/2007	0,2	25/11/2007	0,4
4/11/2007	5,0	26/11/2007*	0,2
5/11/2007	0,0	27/11/2007	0,0
6/11/2007	0,2	28/11/2007*	0,0
7/11/2007	0,0	29/11/2007	0,0
8/11/2007	0,0	30/11/2007*	0,0
9/11/2007	0,0	1/12/2007	0,0
10/11/2007	0,2	2/12/2007	0,0
11/11/2007	0,0	3/12/2007*	0,0
12/11/2007	0,0	4/12/2007	0,0
13/11/2007	0,4	5/12/2007*	9,8
14/11/2007	16,6	6/12/2007	0,0
15/11/2007	0,0	7/12/2007*	0,0
16/11/2007	0,0	8/12/2007	0,0
17/11/2007	3,2	9/12/2007	0,0
18/11/2007	18,9	10/12/2007*	5,8
19/11/2007	0,2	11/12/2007	30,2
20/11/2007	0,0	12/12/2007*	0,0
21/11/2007*	0,0	13/12/2007	0,0
22/11/2007	0,0	14/12/2007	0,0

* Datas das coletas dos dados limnológicos

Quadro 4.1 – Precipitações ocorridas antes e durante o período de coleta

Fonte: INMTE - <http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php>

Tabela 4.1 – Dados coletados em campo e em laboratório para as variáveis limnológicas

ARROIO CADENA									
Data	Transparência do DS (cm)	TDS (mg/l)	TSS (mg/L)	Temperatura do ar (°C)	Temperatura da água (°C)	Condutividade (µScm ⁻¹)	pH		
21/nov	55,00	222,00	5,93	30,00	26,00	461	6,30		
23/nov	32,00	218,00	4,93	31,50	29,00	459	6,97		
26/nov	65,00	222,00	10,65	26,00	23,90	468	6,96		
28/nov	66,00	227,00	8,55	28,00	25,00	477	6,98		
30/nov	60,00	236,00	9,65	27,00	25,50	496	7,01		
3/dez	50,00	256,00	12,25	28,20	26,00	563	7,01		
5/dez	60,00	217,00	3,86	28,00	23,00	455	6,06		
7/dez	60,00	216,00	6,90	28,00	25,00	455	6,13		
10/dez	65,00	260,00	8,35	35,20	29,00	546	6,35		
12/dez	105,00	232,00	4,40	25,50	24,00	486	6,50		
Média	61,80	230,60	7,55	28,74	25,64	486,8	6,63		
RIO VACACAI-MIRIM									
Data	Transparência do DS (cm)	TDS (mg/l)	TSS (mg/L)	Temperatura do ar (°C)	Temperatura da água (°C)	Condutividade (µScm ⁻¹)	pH		
21/nov	35,50	163	42,40	31,00	29,00	260,00	6,20		
23/nov	32,00	98	13,33	31,50	29,00	207,00	6,99		
26/nov	42,50	151	29,50	28,00	26,50	320,00	6,98		
28/nov	42,00	165	17,10	30,00	27,00	347,00	7,02		
30/nov	62,50	180	23,35	33,50	26,70	379,00	6,99		
3/dez	75,00	173	9,60	32,00	27,50	365,00	7,02		
5/dez	38,00	183	18,33	27,30	26,00	388,00	6,34		
7/dez	40,00	168	6,20	32,00	30,00	355,00	6,22		
10/dez	30,00	175	11,26	37,50	31,00	397,00	6,60		
12/dez	35,00	114	5,90	27,00	25,90	240,00	6,25		
Média	43,25	157	17,70	30,98	27,66	325,80	6,66		
RIO IBICUI-MIRIM									
Data	Transparência do DS (cm)	TDS (mg/l)	TSS (mg/L)	Temperatura do ar (°C)	Temperatura da água (°C)	Condutividade (µScm ⁻¹)	pH		
21/nov	95,00	36,00	3,00	29,00	24,00	65,60	6,80		
23/nov	138,00	27,00	3,80	27,50	24,00	66,30	7,01		
26/nov	125,00	27,00	3,05	24,50	22,50	67,80	6,99		
28/nov	119,00	28,00	4,50	30,00	25,00	59,90	7,06		
30/nov	115,00	29,00	2,55	30,00	24,90	62,20	7,02		
3/dez	171,00	31,00	1,50	28,80	24,90	65,00	7,10		
5/dez	140,00	33,00	1,20	27,70	22,00	68,70	6,50		
7/dez	138,00	32,00	3,00	30,00	22,00	67,30	6,58		
10/dez	130,00	32,00	2,60	34,50	27,00	67,90	6,60		
12/dez	120,00	30,00	1,10	26,00	23,00	64,40	6,60		
Média	129,10	30,50	2,63	28,80	23,93	63,51	6,83		

4.4.1 Transparência do disco de Secchi (DS)

A transparência, medida com o uso do disco de Secchi, mostrou-se variável durante o período de coletas. A transparência da água medida pelo disco de Secchi varia entre os ecossistemas aquáticos e, num mesmo lago, pode variar ao longo do dia, estando na dependência do regime de circulação da massa de água, da natureza geoquímica da sub-bacia, do regime das chuvas, e da preservação no entorno. Em alguns lagos pode atingir poucos centímetros como é o caso dos pontos de coleta da sub-bacia do arroio Cadena e do rio Vacacaí-Mirim que não ultrapassaram 112 cm e 75 cm respectivamente. Já no rio Ibicuí-Mirim pode ser observado que a transparência chegou a aproximadamente 180 cm (Figura 4.3), isto se deve ao fato desta sub-bacia se encontrar visivelmente mais preservada que as demais, com uma área floresta mais expressiva, como observado na Tabela 3.1, do capítulo anterior.

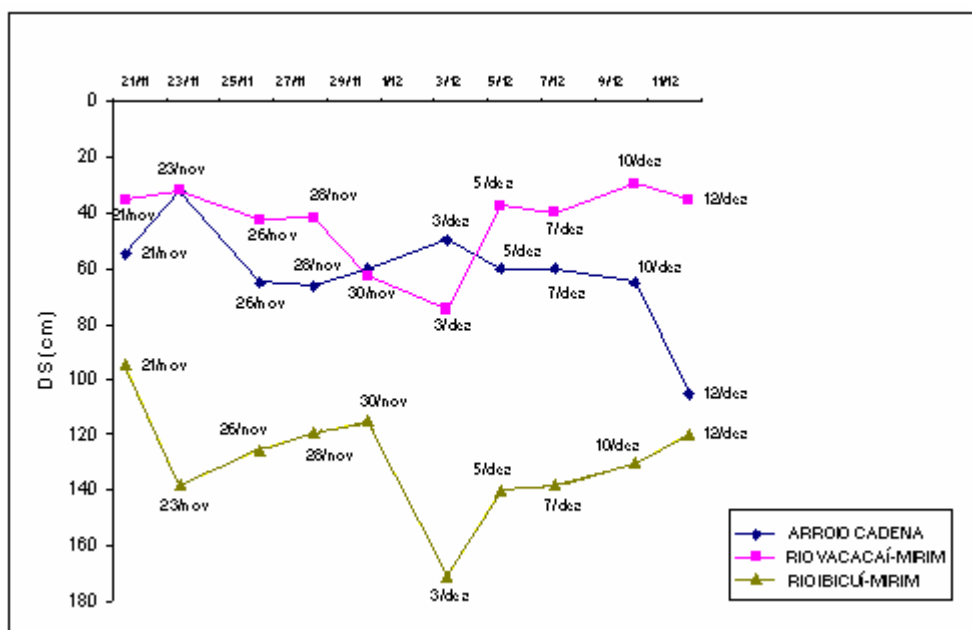


Figura 4.3 – Variação da transparência (DS) nos pontos de coleta

Outro fator, anteriormente mencionado, que também interfere na transparência do disco de Secchi é o regime pluviométrico. Na Figura 4.4, tem-se a representação da precipitação ocorrida durante o período de coleta, e analisando a Figura 4.3 pode-se verificar que as sub-bacias do rio Vacacaí-Mirim e do Ibicuí-Mirim, nos períodos em que não ocorrem precipitações nos dias anteriores as coletas apresentaram maior transparência, sendo o dia 3/12/2007, o mais representativo. Já na sub-bacia do arroio Cadena as chuvas interferiram na

sua transparência de maneira diferente, enquanto nos rios Vacacaí-Mirim e Ibicuí-Mirim a transparência diminui devido às chuvas, no arroio Cadena ela aumenta, isto porque os lixos e os desejos vindos do esgoto são transportados pelas águas tornando-a mais transparente e com menos partículas em suspensão. Esta sub-bacia caracteriza-se ainda pelo alto índice de área urbana e isto em relação às demais sub-bacias consiste em uma diferença importante. Enquanto nas outras bacias ocorre o carreamento de sedimento para o sistema aquático, a presença da chuva proporciona aumento do DS no Cadena devido ao fato da bacia apresentar parte de sua área impermeabilizada, proporcionando as águas superficiais características de maior transparência.

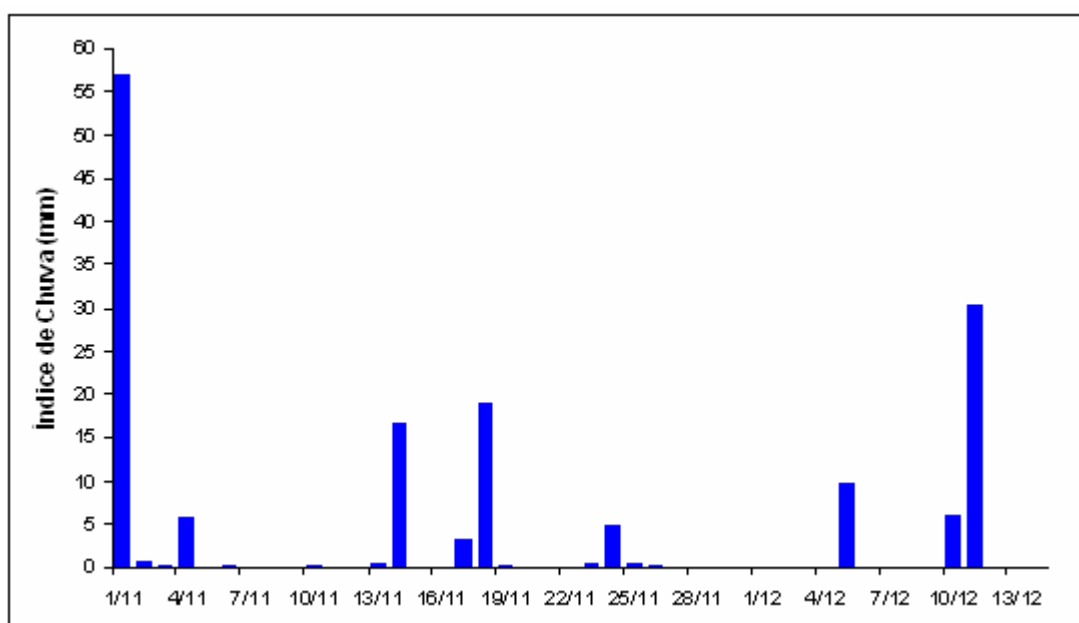


Figura 4.4 – Índices pluviométricos observados durante o período de coleta
Fonte: INMTE - <http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php>

4.4.2 Totais de Sólidos Dissolvidos

Água doce é aquela que apresenta teor de TDS inferior a 1.000mg/L (Tundisi e Rebouças, 1999), e observando a Figura 4.5, verifica-se que as três sub-bacias se encontram nessa faixa, apesar do alto grau de poluição em que se encontra o arroio Cadena e o rio Vacacaí-Mirim na sua parte urbanizada.

O TDS (total de sólidos dissolvidos), para a sub-bacia do rio Ibicuí-Mirim não apresentou grandes variações durante o período de coleta possuindo valores inferiores a

40mg/L, pois se trata de uma sub-bacia totalmente fora da área urbana não sofrendo assim grandes deposições de sólidos, a não ser os carregados pelas chuvas, sendo, portanto uma das mais indicadas para o consumo. Já nas sub-bacias do arroio Cadena e do rio Vacacaí-Mirim, por estarem inseridas na área urbana, seja total ou parcialmente, apresentam maiores quantidades de TDS e grandes variações, como pode ser constatado na Figura 4.5 e Tabela 4.1.

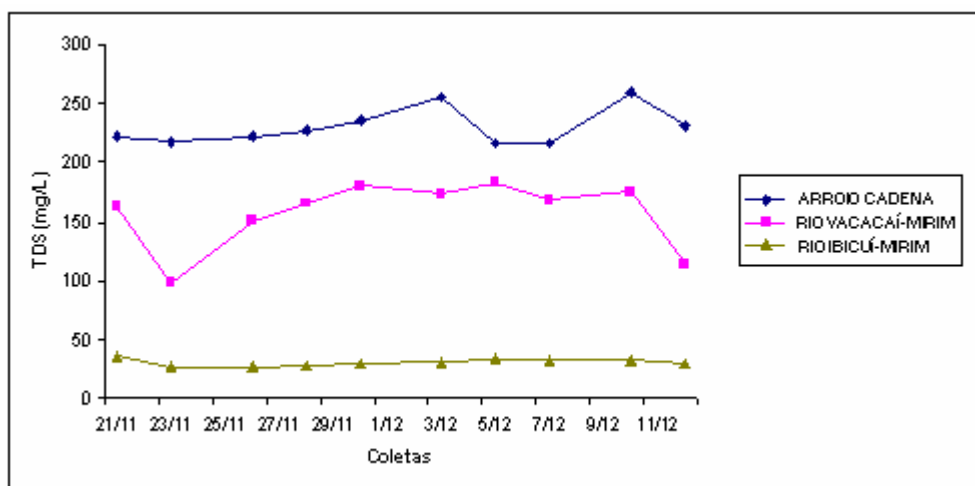


Figura 4.5 - Variação do TDS nos pontos de coleta

4.4.3 Totais de Sólidos em Suspensão

O TSS é uma das variáveis limnológicas mais influenciada pelo ecossistema terrestre, pois partículas podem ser levadas para o ambiente aquático, pelo desmatamento, pelo solo exposto, pelo manejo agrícola, pela pluviosidade, pelos ventos, e pode ser facilitada também pela geomorfologia.

Analisando a Figura 4.6 observa-se que a sub-bacia que apresentou maior variância, foi a do rio Vacacaí-Mirim, este fato pode ser decorrente da proximidade de áreas agrícolas e da grande utilização de bombas d'água para irrigação destas áreas, sendo o maior valor encontrado de 42,4 mg/L no dia 21/11/2007. O arroio Cadena, por estar dentro da área urbana de Santa Maria, pode-se dizer que os sólidos em suspensão, que variou de 3,86 a 12,85 mg/L, são decorrentes da grande quantidade de lixo que é depositada ao longo de seu curso. Já o rio Ibicuí-Mirim apresentou valores mais baixos variando entre 1 e 5mg/L devido a grande

presença de áreas florestadas ao longo de seu curso, principalmente no ponto de coleta, o qual se encontra bastante preservado.

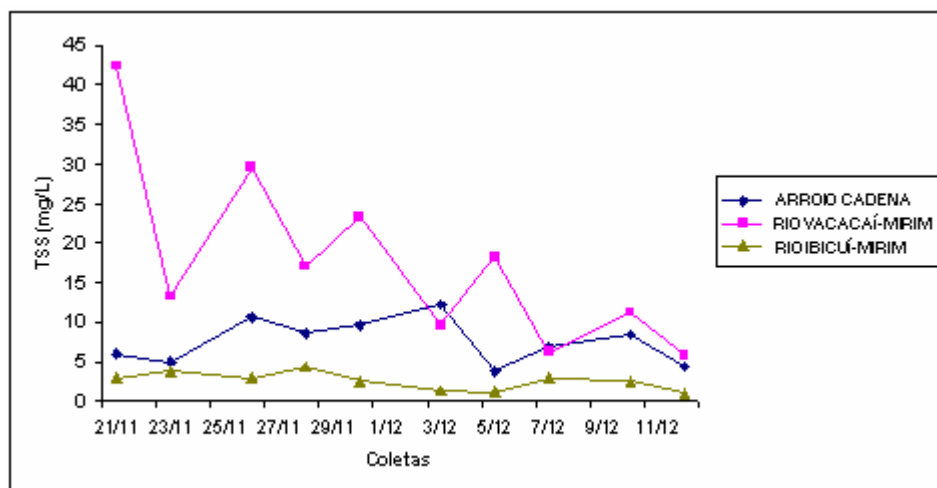


Figura 4.6 - Variação do TSS nos pontos de coleta

4.4.4 Temperatura

As matas ciliares prestam um benefício considerável ao ecossistema lacustre. Além de funcionarem como filtro para os sólidos trazidos pelas chuvas, servem de habitat para a fauna, de alimento para os peixes e ainda, em muitos casos, diminui a temperatura da água com a sombra fornecida pelas suas copas. Com a análise das Figuras 4.7 e 4.8, de temperatura do ar e da água para as três sub-bacias, pode-se verificar que a sub-bacia que apresentou menores valores na temperatura da água (Figura 4.8) foi a do rio Ibicuí-Mirim, por apresentar maior área florestada em suas margens, como já mencionado anteriormente. O rio Vacacaí-Mirim, por ser uma área de grande exploração agrícola, grande parte de suas margens, principalmente no ponto de coleta não apresentava áreas florestadas o que ocasionou a elevação da temperatura da água. O arroio Cadena, apresentou poucas variações em relação às outras duas sub-bacias, por estar inserido na área urbana de Santa Maria, e ser canalizado em algumas áreas da cidade.

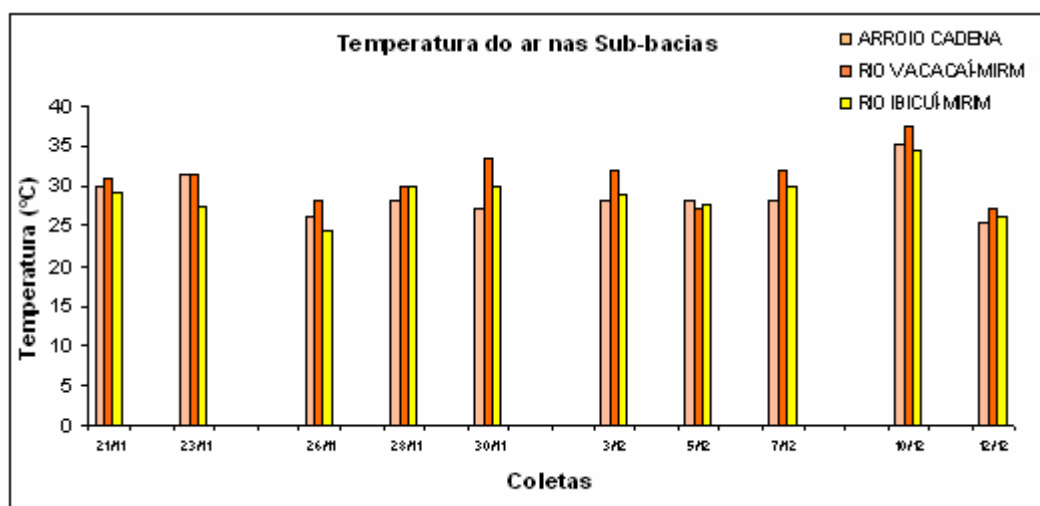


Figura 4.7 – Temperatura do ar nas Sub-bacias no período de coleta

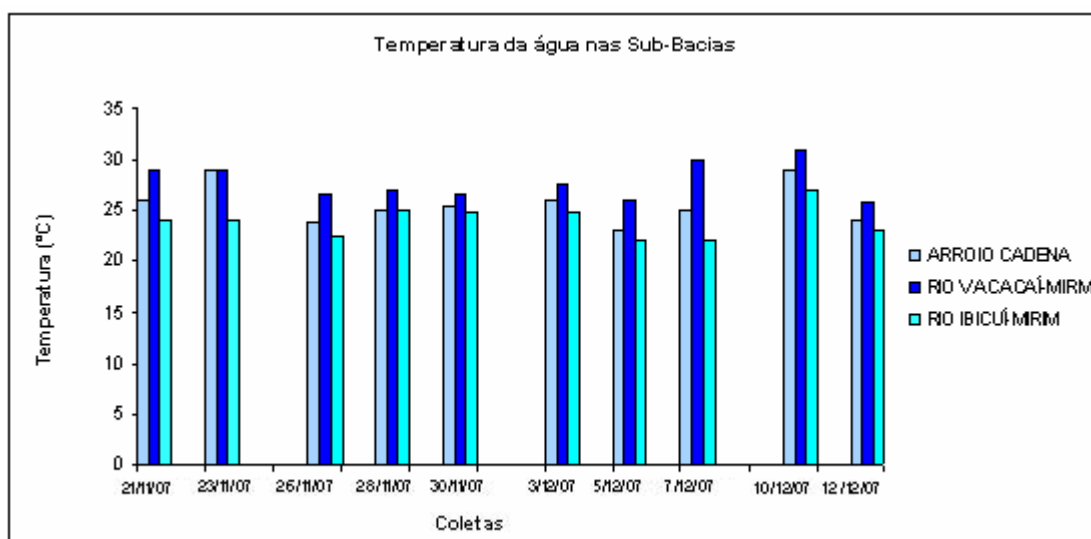


Figura 4.8 – Temperatura da água nas Sub-bacias no período de coleta

4.4.5 Condutividade Elétrica (CE) e Potencial Hidrogeniônico (pH)

A condutividade elétrica é importante para o metabolismo do ecossistema aquático, sendo determinante para a indicação de fontes poluidoras, e indicativa de nutrientes no ecossistema aquático, devido a troca de íons.

O regime pluviométrico exerce influência na condutividade elétrica da água. O valor da CE é inversamente proporcional ao valor de índice pluviométrico, isto é, quanto maior o valor do índice pluviométrico, menor o valor da condutividade elétrica, isto pode explicar o fato da sub-bacia do rio Ibicuí-Mirim ser a que apresenta menores valores de condutividade

(Figura 4.9(a)), com valores variando de 56,3 a 68,7 μScm^{-1} , e sem grandes variações nas amostras coletadas. Já o rio Vacacaí-Mirim e o arroio Cadena, foram os que apresentaram maior condutividade elétrica, variando de 207 a 397 μScm^{-1} e 455 a 563 μScm^{-1} respectivamente, por possuírem uma elevada quantidade de sais dissolvidos. No Cadena isto pode estar relacionado à quantidade de esgoto e dejetos jogados ao longo de seu curso. Já no Vacacaí-Mirim, este fato se deve a falta de vegetação em suas margens e a intensa atividade agrícola, com uso de insumos próximos a suas margens, os quais são levados para seu leito com as chuvas.

Quanto aos valores de pH (Figura 4.9(b)), ocorrem variações entre as três sub-bacias, ficando entre 6,0 e 7,0, mantendo-se relativamente neutro em quase todas as amostras. Nos períodos de maior incidência de chuvas ocorre uma diminuição desses valores, como nos casos do Cadena e do Vacacaí-Mirim que apresentaram nos dia 21/11/2007 e 5/12/2007 valores mais baixos, se tornando praticamente ácido. Já no Ibicuí-Mirim também ocorreram variações, mas menos significativas, mantendo um pH, mais próximo de 7, sendo o valor mais baixo encontrado de 6,5 no dia 05/12/2007, e o mais elevado para o dia 28/11/2007 e chegou a 7,06.

Sabe-se que o potencial hidrogeniônico (pH) de um sistema é de fundamental importância para a manutenção da vida. Quando o pH atinge valores extremos como 5,5 e 9,5 (muito ácidos ou muito básicos) podem ser alteradas a distribuição das comunidades aquáticas (WETZEL, 1995 apud COGO, 2005).

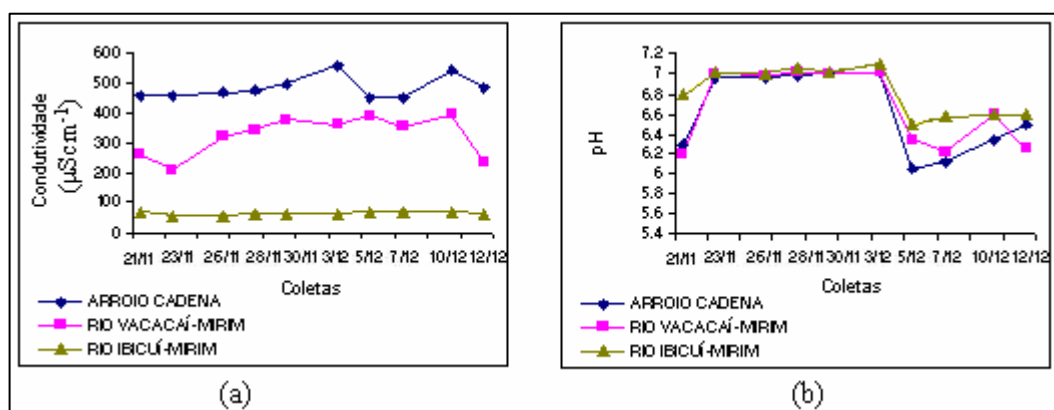


Figura 4.9 – Condutividade elétrica (a) e pH (b)

4.5 Conclusão

Verifica-se que o ambiente aquático sofre grandes influências do ecossistema terrestre. As variáveis limnológicas avaliadas para cada sub-bacia mostraram como cada uma delas é afetada. Observou-se que a sub-bacia menos influenciada é a do Ibicuí-Mirim, isto se deve ao fato de ser a mais preservada, por se encontrar totalmente fora da área urbana, o que não ocorre com as do Cadena e Vacacaí-Mirim, já que estas sofrem influência antrópica direta.

As medidas com o disco de Secchi (Transparência da água) mostraram que o Vacacaí-Mirim, por apresentar maior declividade média e áreas agrícolas próximas as suas margens é que possui baixos valores de profundidade Secchi e mais elevados de TSS.

As concentrações de TSS e TDS foram menores na SB do rio Ibicuí-Mirim, pois como este se encontra mais preservado não ocorrem grandes carregamentos de sólidos devido às chuvas para seu leito. A SB do arroio Cadena, se encontra urbanizada no ponto escolhido para as coletas apresentando valores baixos de TSS, pois ao contrario do rio Vacacaí-Mirim e do Ibicuí-Mirim, não ocorre o carregamento de sólidos para seu leito. Este fato pode explicado, pelo Cadena ser em grande parte canalizando e pelo ponto escolhido para coleta ainda possuir pequena quantidade de mata ciliar. O que não ocorre com o Vacacaí-Mirim, no qual foram identificadas poucas áreas de florestamento em suas margens no ponto escolhido para as coletas e grandes áreas agrícolas, sendo esta sub-bacia altamente influenciada pelo sistema terrestre, devido ao elevado transporte de partículas para o seu leito.

CAPÍTULO V

5. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA ÁGUA

5.1 Introdução

A reflectância da água é condicionada por diversos fatores, dentre eles pode-se destacar a concentração do total de sólidos em suspensão, concentração de clorofila e concentração de carbono orgânico dissolvido.

Em estudos de alvos terrestres por Sensoriamento Remoto, a reflectância da energia eletromagnética na superfície da terra é normalmente modelada como um evento bidimensional de espalhamento simples. Entretanto, quando o alvo se constitui em ambientes aquáticos, a modelagem se torna bem mais complexa. Neste caso a modelagem é inerentemente tridimensional (Figura 5.1), e envolve espalhamento múltiplo de diferentes ordens dentro do perfil do corpo d'água (MCCLUNEY, 1974).

A espectrorradiometria de campo é uma técnica de sensoriamento remoto que pode ser utilizada em diversos experimentos para obtenção de medidas da energia refletida, em diferentes faixas de comprimento de onda do espectro eletromagnético (HENDERSON; BADHWAR, 1984 apud RUDORFF, 2005). A grande vantagem do sensoriamento remoto é que tais medidas podem ser realizadas tanto próximas à superfície, em pequenas áreas, quanto do espaço aéreo, para observação detalhada de grandes regiões.

Na Figura 5.1 observa-se o processo na trajetória da radiação solar, desde a sua entrada na atmosfera, passando pela interface ar/água, sua interação com a coluna d'água, e seu caminho em direção ao sensor.

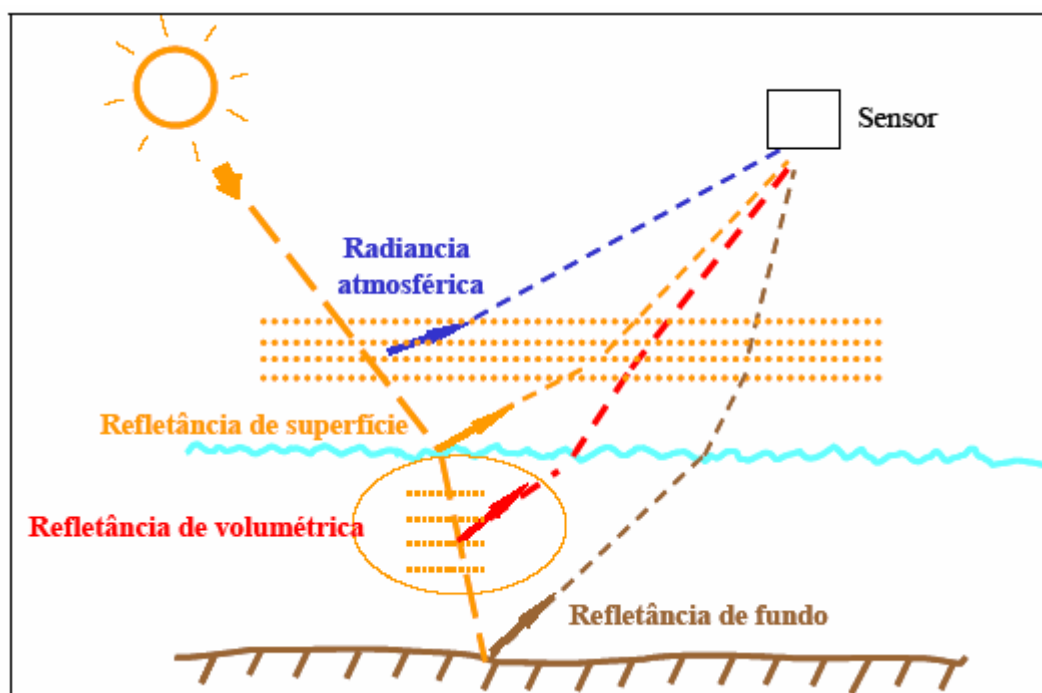


Figura 5.1 – Processos na trajetória da radiação solar
Fonte: Barbosa, 2005

5.2 Fundamentação Teórica

5.2.1 Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto segundo Eastman (1998), vem sendo associado com a indicação de interações entre os materiais da superfície terrestre e a energia eletromagnética. Novo (1998) já afirma que sensoriamento remoto é a utilização de sensores, de equipamentos de processamento e transmissão de dados, dentre outros, com o intuito de se estudar o ambiente terrestre, por meio das interações entre a radiação eletromagnética e a matéria contida na Terra. E ainda que Sensoriamento Remoto é a ciência que transforma os dados de radiância em informações sobre os objetos que a compõem.

Para a efetivação da coleta de dados no sensoriamento remoto, é necessário existir uma fonte de radiação para propagar a energia pela atmosfera. A principal fonte de energia eletromagnética para o sensoriamento remoto é o Sol. Ao incidir sobre a superfície terrestre, a energia solar vai interagir com objetos e, em seguida, se propagará novamente pela atmosfera para ser captada pelos sensores.

5.2.2 Radiação Eletromagnética

Segundo Rosa (2003, p. 6) “a radiação eletromagnética (REM) é definida como sendo a forma de energia que se move à velocidade da luz, seja em forma de ondas ou de partículas eletromagnéticas, e que não necessita de um meio material para se propagar”.

Para a efetivação da coleta de dados no sensoriamento remoto, é necessário existir fonte de radiação para propagar a energia pela atmosfera. O Sol é a principal fonte de energia para todo o sistema solar e, devido à sua elevada temperatura, gera uma grande quantidade de energia que é radiada para todo o espaço, também chamada radiação solar (Figura 5.2). Ao atingir a superfície terrestre uma parte é refletida de volta para o espaço e outra absorvida pelos objetos terrestres transformando-se em calor ou outras formas de energia (NOVO; PONZONI, 2001). A energia radiante também pode ser gerada na Terra por objetos aquecidos ou através de outros fenômenos físicos

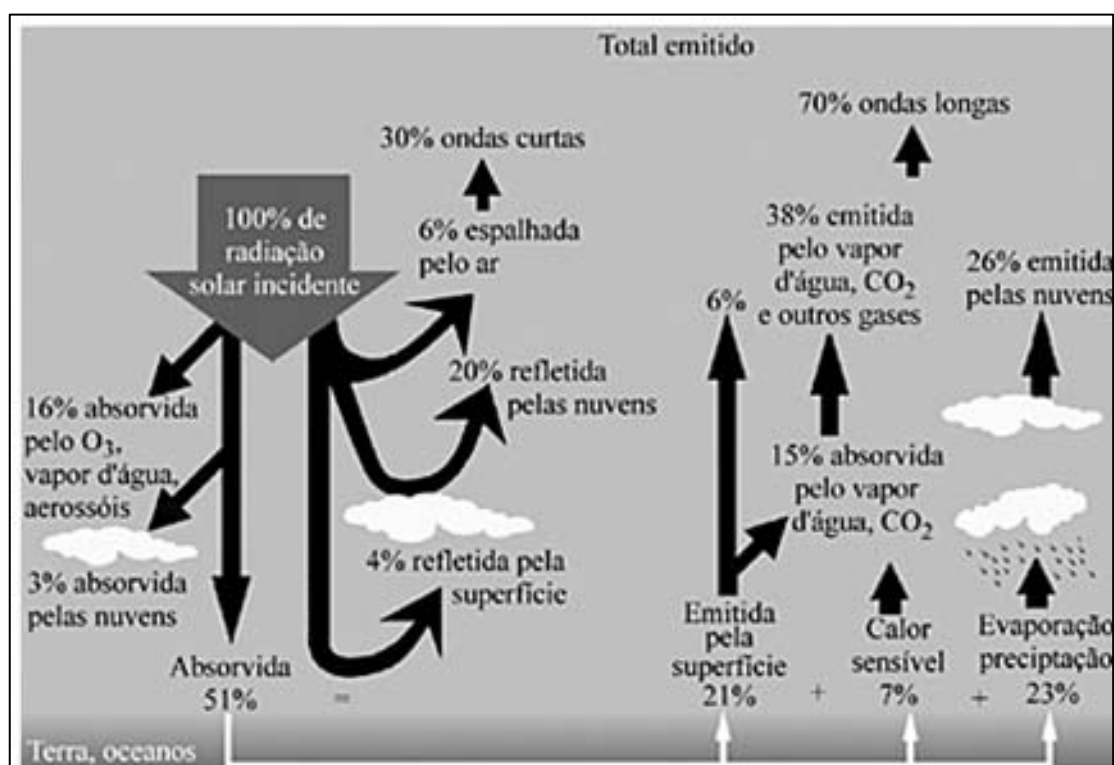


Figura 5.2 – Diagrama simbólico dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre
Fonte: Martins et al (2004).

Todos os alvos *absorvem, transmitem, refletem e emitem* seletivamente REM. Através destas características, é possível discriminar espectralmente alvos distintos, segundo o comportamento destes fenômenos na interação do alvo com a radiação eletromagnética.

Em geral a parte absorvida é transformada em calor ou em algum outro tipo de energia e a parte refletida se espalha pelo espaço. O fator que mede a capacidade de um objeto de refletir a energia radiante indica a sua *reflectância*, enquanto que a capacidade de absorver energia radiante é indicada pela sua *absortância* e, da mesma forma, a capacidade de transmitir energia radiante é indicada pela sua *transmitância*. Certamente um objeto escuro e opaco tem um valor baixo para a reflectância, alto para a absortância e nulo para a transmitância. A reflectância, absortância e a transmitância costumam ser expressas em percentagem (ou por um número entre 0 e 1) (STEFFEN; MORAES, 1993).

Podemos medir a reflectância de um objeto para cada tipo de radiação que compõe o espectro eletromagnético e então perceber, através dessa experiência, que a reflectância de um mesmo objeto pode ser diferente para cada tipo de radiação que o atinge. Quando ocorre uma variação na reflectância de um objeto para cada comprimento de onda, é denominada assinatura espectral e depende das propriedades do objeto.

No processo de interação da radiação com um alvo, a REM pode ser mensurada e analisada por técnicas de radiometria. As quantidades de energia envolvidas são denominadas grandezas radiométricas e são medidas em campo ou laboratório utilizando radiômetros. Destas grandezas, a fundamental é a energia radiante (Q), a partir do qual são derivadas as demais grandezas, como: radiância (L), irradiância (E), fluxo radiante (ϕ), exitância (M), intensidade radiante (I) (STEFFEN; MORAES, 1993).

As principais faixas do espectro eletromagnético (Figura 5.3) conforme Chuvieco (1990) são assim descritas:

- *Ondas de rádio*: baixas frequências e grandes comprimentos de onda. São utilizadas para comunicação a longa distância.
- *Microondas*: faixa de 1nm a 30cm ou 3×10^{11} a 3×10^9 Hz. Pode-se gerar feixes de radiação eletromagnética altamente concentrados, chamados radares. Por serem pouco atenuados pela atmosfera, ou por nuvens, permitem o uso de sensores de microondas em qualquer condição de tempo.
- *Infravermelho*: grande importância para o Sensoriamento Remoto. Infravermelho Próximo situa-se entre os comprimentos de onda de 0,7 a 1,3 nm. O Infravermelho Médio situa-se entre os comprimentos de onda de 1,3 a 8 nm. O Infravermelho Distante ou Térmico situa-se entre os comprimentos de onda de 8,0 a 14,0mm. A

radiação I.V. é facilmente absorvida pela maioria das substâncias (efeito de aquecimento).

- **Visível:** Radiação capaz de produzir a sensação de visão para o olho humano normal. Importante para o Sensoriamento Remoto, pois imagens obtidas nesta faixa, geralmente, apresentam excelente correlação com a experiência visual do intérprete. Situa-se entre os comprimentos de onda de 0,4 a 0,7nm; é a única radiação eletromagnética que pode ser percebida pelo olho humano; distinguem-se três bandas elementares que se denominam azul (0,4 a 0,5nm), verde (0,5 a 0,6nm) e vermelho (0,6 a 0,7nm);
- **Ultravioleta:** extensa faixa do espectro (10nm a 400nm). Películas fotográficas são mais sensíveis à radiação ultravioleta do que a luz visível. Uso para detecção de minerais por luminescência e poluição marinha. Forte atenuação atmosférica nesta faixa se apresenta como um grande obstáculo na sua utilização.
- **Raios X:** Faixa de 1Å a 10nm ($1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$). São gerados, predominantemente, pela parada ou freamento de elétrons de alta energia. Por se constituir de fótons de alta energia, os raios-X são altamente penetrantes, sendo uma poderosa ferramenta em pesquisa sobre a estrutura da matéria.
- **Raios-GAMA:** são os raios mais penetrantes das emissões de substâncias radioativas.

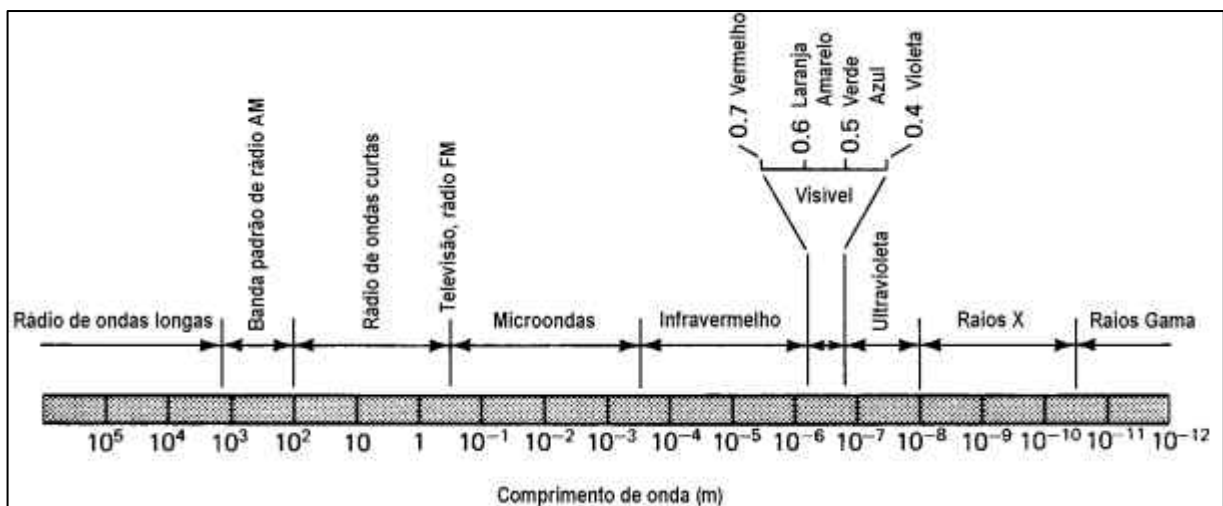


Figura 5.3 – Espectro Eletromagnético
Fonte: Queiroz; Gomes, 2001.

5.2.3 Comportamento Espectral da Água

O comportamento espectral da água é resultado dos processos de absorção e espalhamento da radiação no seu interior, e a radiação detectada pelo sensor fornece informações sobre características físico-químicas e biológicas da região estudada (CABRAL, 2003). Os trabalhos de comportamento espectral da água baseiam-se na aquisição simultânea de dados espectrorradiométricos e dados *in situ* de parâmetros de qualidade da água e concentram-se, principalmente, na faixa espectral correspondente à radiação fotossinteticamente ativa, entre 350 e 700nm. De um modo geral, a reflectância da água limpa diminui com o aumento dos comprimentos de onda. Verificam-se as maiores reflectâncias na região do visível, mais especificamente, nos comprimentos de onda do azul e verde, decrescendo gradualmente na direção do infravermelho, limitando-se os estudos de qualidade da água ao espectro visível (ROBERT et al, 1995).

Os coeficientes de absorção e de espalhamento e a função de espalhamento volumétrico são denominados de *propriedades ópticas inerentes* da água, pois suas magnitudes, para cada comprimento de onda, só dependem das propriedades físico-químicas e das concentrações dos constituintes que compõem o meio aquático. Por serem propriedades físicas do meio, estes coeficientes independem de mudanças na distribuição angular do fluxo radiante, ou seja, da estrutura geométrica do campo de luz ambiente (KIRK, 1994 p.12).

A reflectância espectral de um corpo d'água, depende das propriedades espectrais de seus componentes. Os componentes de um volume d'água que afetam seu comportamento espectral podem ser classificados em: pigmentos e complexos protéicos responsáveis pela fotossíntese, substâncias orgânicas dissolvidas, e material particulado em suspensão (BRICAUD; SATHYENDRANATH, 1995 apud CABRAL et al, 2003). Os principais responsáveis pelo espalhamento da radiação na água, são as partículas suspensas como bactérias, células dos fitoplânctons e os detritos orgânicos e inorgânicos, enquanto os principais absorvedores da radiação são os pigmentos fotossintéticos, os detritos orgânicos e a matéria orgânica. A Figura 5.4 ilustra o comportamento da água ao ser iluminada por um feixe de luz. Uma parte da luz incidente é absorvida e outra parte é espalhada pela camada, ocorrendo assim uma alteração na direção em relação à direção original do feixe de luz.

Uma característica que distingue o alvo Água dos outros “alvos” estudados é o seu estado físico. Os solos, as plantas, as rochas são alvos sólidos, enquanto que a água é um alvo líquido. Este fato traz inúmeras conseqüências à interação energia/matéria

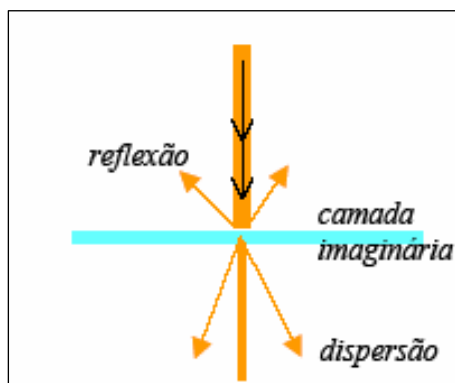


Figura 5.4 - Interação de um feixe de luz com uma fina camada de água.
Fonte: Barbosa (2005).

Os corpos d'água se distinguem também, dos demais alvos por apresentarem, em geral, baixas porcentagens de reflectância, o que implica em baixas radiâncias, e portanto, baixa probabilidade de que as diferenças detectadas pelos sensores estejam acima do ruído do sensor, para a maioria dos sensores de primeira e segunda geração e para a maioria dos sensores de alvos terrestres, como é o caso dos sensores TM/Landsat e HRV/SPOT (NOVO; PONZONI, 2001).

A diferença mais crucial entre o estudo do comportamento espectral da água e dos demais alvos é que, quando se estuda o comportamento de uma rocha, o que se busca é conhecer as propriedades daquela rocha, mas quando se estuda o comportamento da água, o que se busca conhecer não é a “água-objeto-em-si-mesmo”, mas os componentes que se encontram nela dissolvidos ou nela suspensos. Portanto, o estudo do comportamento espectral da água, é usado como indicador do comportamento de um sistema muito mais complexo que é o sistema aquático (NOVO; PONZONI 2001, p. 44).

A maior parte do fluxo incidente sobre a água não é refletido, como ocorre no solo e na vegetação, mas sim absorvido ou transmitido. Nos comprimentos de onda do visível, pouca luz é absorvida, uma pequena quantidade é refletida e a maior parte é transmitida. Moreira (2003) destaca que a água no estado líquido absorve a radiação eletromagnética em comprimentos de onda menores que 380nm e maiores do que 700nm e que, mesmo nessa faixa intermediária, a reflectância da água é relativamente pequena, ultrapassando pouco mais de 5%.

A água pura tem uma resposta espectral particular, a reflectância é elevada no intervalo espectral correspondente à luz azul, diminui no verde, é fraca no vermelho e é quase nula no infravermelho próximo (ROBIN 1995, apud LIMA et al, 2005), pois como não ocorre

a presença de matéria orgânica ou sólidos em suspensão, a água absorve toda a radiação do infravermelho próximo incidente (JENSEN 2000, apud LIMA et al, 2005).

Em águas naturais, os Constituintes Ópticamente Ativos (COAs) presentes na sub-superfície passam a ser determinantes sobre as propriedades ópticas inerentes de corpos d'água. Sólidos em suspensão, pigmentos fotossintetizantes e substâncias húmicas são os principais COAs responsáveis pela variação espectral da água (Figura 5.5). As propriedades de absorção e espalhamento dos COAs irão definir seletivamente a forma final da curva de reflectância. Em geral, a variação nas concentrações dos COAs regulará a intensidade de radiação refletida na sub-superfície e a magnitude das feições espectrais produzidas (KIRK, 1994).

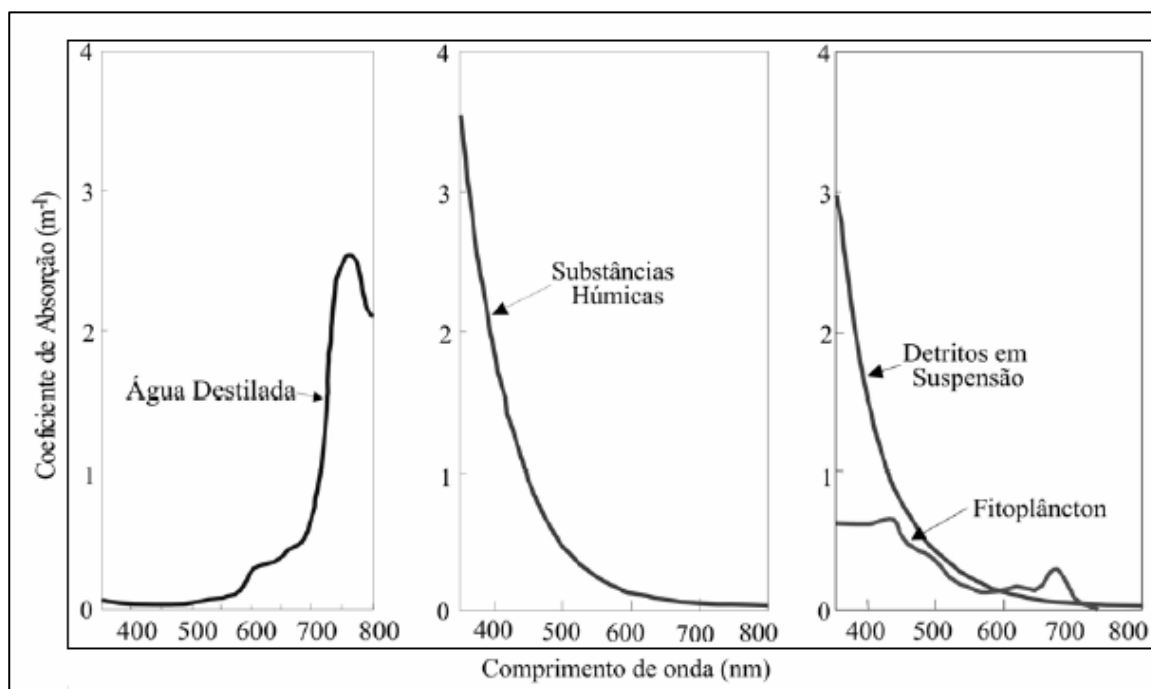


Figura 5.5 - Coeficiente de absorção da água e das substâncias presentes na água

Fonte: Adaptado de Esteves, 1998.

As propriedades ópticas da água apresentam grande variabilidade, em decorrência das propriedades gerais da água. Existe uma forte conexão entre as propriedades ópticas da água e os constituintes da água, e é essa conexão que torna importante a óptica hidrológica e que indica perspectivas otimistas ao sensoriamento remoto de sistemas aquáticos (NOVO; POZZONI, 2001).

O fator de reflectância representa a razão entre a radiância do corpo d'água e a de uma referência padrão lambertiana, nas mesmas condições de iluminação e observação (MILTON, 1987). A porção relativa da radiância detectada pelo sensor irá variar conforme a geometria de visada, e as propriedades ópticas inerentes e aparentes da água (NOVO et al, 1989). As diferenças de abordagem do alvo água, fazem com que a metodologia de aquisição de dados, a nomenclatura, os conceitos utilizados, entre outros, sejam muito específicos.

Como se pode observar na Figura 5.6, a água no seu estado líquido apresenta uma baixa reflectância entre $0,38\mu\text{m}$ e $0,7\mu\text{m}$ ($\rho < 0,1$), sendo a sua radiação absorvida completamente a partir de $0,7\mu\text{m}$. Na faixa espectral compreendida entre $0,38\mu\text{m}$ e $2,5\mu\text{m}$, a água na sua forma gasosa (nuvens), apresenta uma alta reflectância ($\rho \cong 0,7$). Já no estado sólido (neve), a água apresenta algumas variações, como uma alta reflectância entre $0,7\mu\text{m}$ e $1,2\mu\text{m}$, aparecendo logo em seguida ($1,2\mu\text{m}$ a $1,4\mu\text{m}$) um rápido decréscimo nos valores de reflectância. Novamente é observado um ligeiro aumento nas faixas compreendidas entre $1,5\mu\text{m}$ e $2\mu\text{m}$ (NOVO, 1998). Neste trabalho a água foi analisada apenas no seu estado líquido.

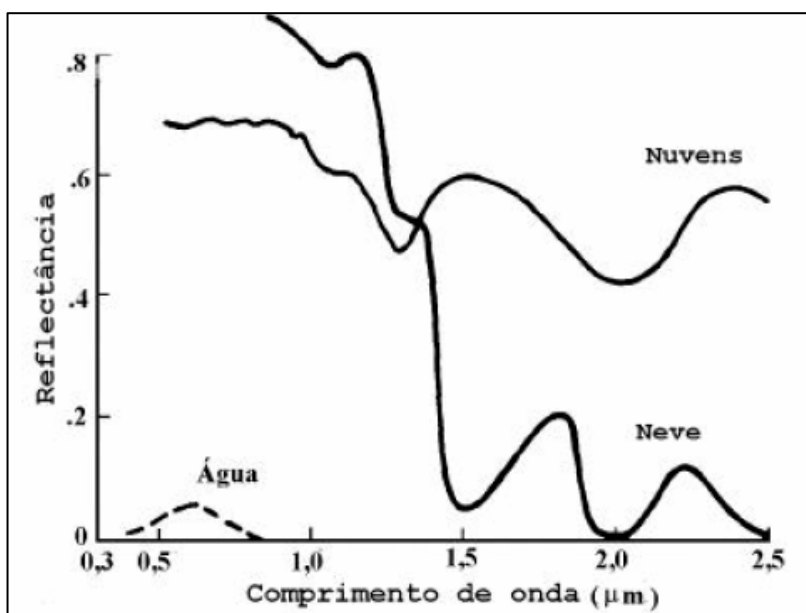


Figura 5.6 – Comportamento espectral da água em seus diferentes estados físicos.

Fonte: Novo (1998, p.195).

5.2.3.1 Pigmentos Fotossintetizantes

Morel; Prieur (1977) *apud* Barbosa (2005), estudando uma grande variedade de tipos d'água, classificou-as a partir da relação *concentração de pigmentos/coeficiente de espalhamento* em dois tipos: a concentração de clorofila é muito alta em relação ao coeficiente de espalhamento; a concentração de partículas inorgânicas é muito alta em relação à concentração de pigmentos.

Segundo Novo et al (2001), a absorção de luz no meio aquático é decorrente da presença de quatro componentes básicos: a própria água, substâncias dissolvidas na água (substância amarela ou matéria orgânica), biota fotossintetizadora (fitoplâncton e macrófitas quando presentes) e partículas não vivas (partículas orgânicas mortas e partículas inorgânicas). As presenças de partículas orgânicas e inorgânicas na água também aumentam o seu coeficiente de absorção. Essas partículas em geral apresentam espectro de absorção semelhante ao da matéria orgânica, mas sua magnitude é bem menor, variando entre $0,3 \text{ m}^{-1}$ a $1,5 \text{ m}^{-1}$ em condições de águas bastante turbidas. A absorção seletiva da radiação eletromagnética que penetra na água é causada pelos pigmentos responsáveis pela fotossíntese no fitoplâncton (clorofilas, carotenóides e biliproteínas). A maioria das plantas possui clorofilas *a*, *b*, *c* e mais raramente *d*. A clorofila que ocorre em maior abundância é a clorofila *a* (LONDE et al, 2005). A razão entre a concentração de clorofila *a* e *b* varia também de espécie para espécie, podendo atingir valores mínimos em torno de 1,0 mg/L em espécies marinhas e até 6,0 mg/L como o encontrado para a *Euglenofita* (NOVO, 2001).

A clorofila *a* atua como centro de reação fotossintética e possui dois picos de absorção um no azul, em 433 nm, chamado "Soret" e outro no vermelho, em 686 nm, chamado "alpha" (KIRK, 1994). Enquanto a clorofila *a* absorve fracamente entre 450 e 650 nm a clorofila *b* tem o efeito de aumentar a absorção, tanto para o lado dos comprimentos de onda mais longos quanto para os mais curtos.

5.2.3.2 Transparência da água e Total de Sólidos em Suspensão (TSS)

A transparência da água (apresentado no Capítulo 4) varia de alguns centímetros a dezenas de metros. Esta região da coluna d'água chama-se zona eufótica, varia com a capacidade da água em atenuar a radiação subaquática e corresponde à profundidade onde a

intensidade da radiação solar equivale a 1% daquela que atinge a superfície (ESTEVEES, 1998).

Embora a profundidade do disco de Secchi não forneça dados sobre a qualidade e a quantidade de radiação solar, pode-se utilizá-la para o cálculo indireto do coeficiente vertical de atenuação (k).

$$k = \frac{1,7}{Z_{ds}} \quad (5.1)$$

Onde:

k = coeficiente de atenuação vertical da radiação

1,7 = constante calculada

Z_{ds} = profundidade do disco de Secchi, em metros

A quantidade da entrada e saída de energia luminosa influencia diretamente o metabolismo aquático (PEREIRA FILHO, 2000). Em canais de baixa profundidade e onde a água apresenta elevada transparência, os raios solares penetram em toda coluna d'água, porém em ambientes profundos ou em que água admite pouca transparência, a iluminância não alcança o fundo do canal. A porção da coluna d'água que é iluminada chama-se de zona eufótica, mas a zona não iluminada é chamada de zona afótica.

A cor da água e a quantidade de sólidos em suspensão têm forte participação no comportamento espectral da água. A cor da água representa os principais comprimentos de onda refletidos em um metabolismo aquático (PEREIRA FILHO, 1991). A Figura 5.7 mostra a diferença na resposta espectral entre um rio de água limpa e um rio de água turva.

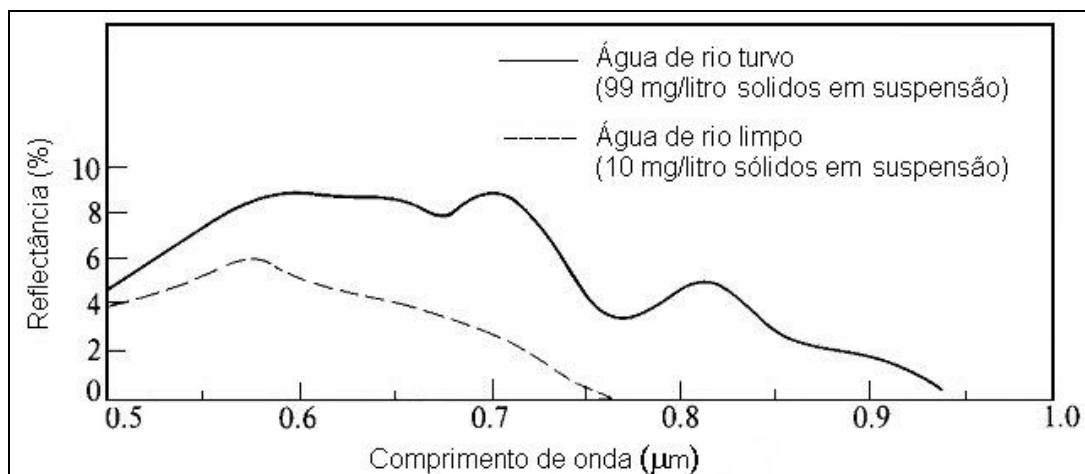


Figura 5.7 – Comportamento espectral da água em rios turvo e limpo.

Fonte: Adaptado de Lillesand; Kiefer (1987)

Como o espalhamento no meio aquático é provocado pela própria água e pelas partículas vivas e não vivas em suspensão na água. A forma geral do espalhamento pela água caracteriza-se por uma redução exponencial do espalhamento em direção a comprimentos de ondas mais longos. Como o espalhamento é proporcional também ao número de partículas no meio aquático, e como para um mesmo peso de partículas, há maior número de partículas pequenas, em geral, partículas finas resultam em maiores coeficientes de espalhamento (NOVO et al, 2001).

5.3 Materiais e Procedimentos Metodológicos

5.3.1 Materiais

- Espectrorradiômetro

Espectrorradiômetro FieldSpec3 (Figura 5.8), fabricado pela empresa Analytical Spectral Devices. Esse espectrorradiômetro possui campo de visada de 25°, intervalo espectral de 350 a 2500 nm, resolução espectral variando de 3 a 10nm e tempo para aquisição de dados de aproximadamente 1/10 de segundo por espectro. O fator de reflectância foi obtido utilizando-se como superfície lambertiana a placa *Spectralon* 11. O controle, registro e processamento dos dados medidos foram feitos com o auxílio de um microcomputador portátil.



Figura 5.8 – Espectrorradiômetro FieldSpec3

5.3.2 Procedimentos Metodológicos

O espectrorradiômetro FieldSpec3 foi empregado para a aquisição dos dados espectrais da água nos dias 30/11/2007 e 07/12/2007, foram realizadas somente duas aquisições devido à disponibilidade de saída com o espectrorradiômetro. Para cada ponto de coleta (Figura 5.9) o radiômetro foi calibrado com a placa *Spectralon* 11. A altura média para as coletas de radiometria nos pontos foi de 2 metros.



Figura 5.9 – Pontos de aquisição dos dados com o Espectrorradiômetro

Conforme Milton (1987) as medidas de radiância para cada ponto foram realizadas sob as mesmas condições de iluminação e observação, com condições de tempo adequadas, com sol, sem vento e com a superfície da água lisa. A importância de se fazer às medidas sem a

presença de ventos, e devido ao fato deste ser um dos efeitos mais importantes na degradação das informações espectrais em coletas de campo (PEREIRA FILHO et al, 2002). O espectrorradiômetro foi posicionado em cada ponto amostral com eixo de visada de 45° de inclinação em relação à vertical e de 90° de azimute em relação a posição do sol, nestas condições evitou-se o efeito da reflectância especular da água. Apesar de o espectrorradiômetro possuir intervalo espectral de 350nm a 2500nm, para o presente estudo, somente os comprimentos de onda entre 400nm e 900nm foram usados, devido ao alto nível de ruído para comprimentos de onda localizados fora desta faixa.

5.4 Análise dos Resultados

A resposta espectral de um corpo d'água depende da composição e concentração dos componentes opticamente ativos encontrados. As Figuras 5.10 e 5.11 demonstram o comportamento espectral do arroio Cadena e dos rios Vacacaí-Mirim e Ibicuí-Mirim para duas datas de coletas (30/11/2007 e 07/12/2007).

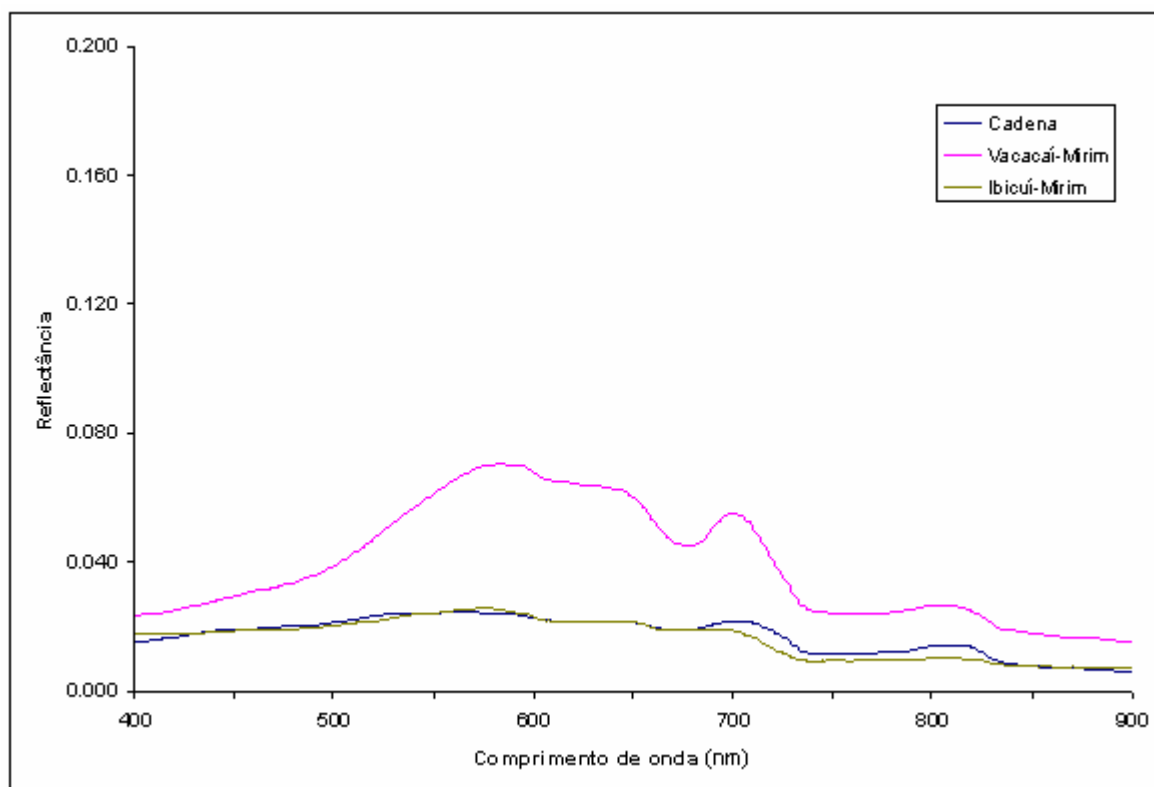


Figura 5.10 – Reflectância da água para o dia 30/11/2007

Observa-se nas Figuras 5.10 e 5.11, que o rio Vacacaí-Mirim apresentou picos de reflectância nos comprimentos de onda na faixa do verde do espectro eletromagnético (570nm) para as duas coletas realizadas, sendo mais expressiva para a segunda coleta (07/12/2007). Pois este rio apresenta, como observado em campo, grande quantidade de pigmentos fotossintetizantes em sua superfície. Também ocorreu pico de reflectância em 720 nm e na faixa de 770 a 810 nm, mas com menor intensidade devido provavelmente a presença de sólidos em suspensão, a rugosidade da superfície da água e matéria orgânica presente neste rio.

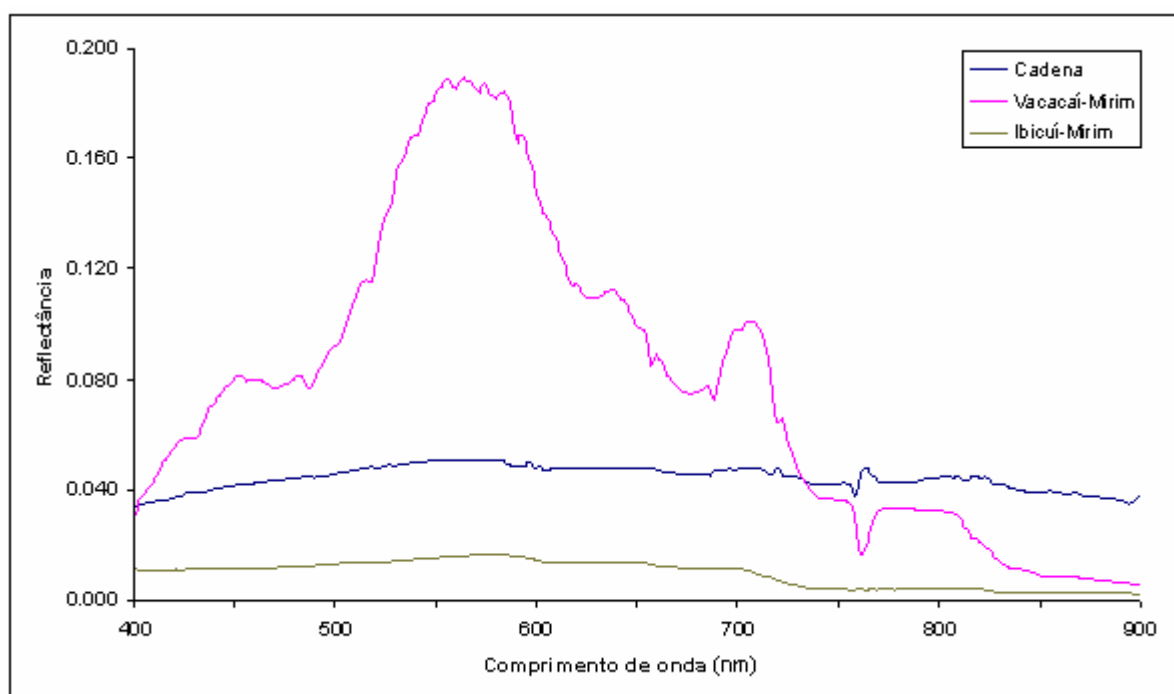


Figura 5.11 – Reflectância da água para o dia 07/12/2007

O rio Ibicuí-Mirim para as coletas realizadas nos dias 30 de novembro (Figura 5.10) e 7 de dezembro (Figura 5.11) apresentou variação da reflectância inferior a 0,04, isto está relacionado a baixa concentração de TSS e a alta transparência neste rio, que como apresentado no capítulo anterior possui média de 2,63 mg/L, enquanto que o Cadena e o Vacacaí-Mirim possuem 7,547 mg/L e 17,697 mg/L, respectivamente. A baixa concentração de TSS também exerceu influência no albedo, principalmente das amostras do rio Ibicuí-Mirim que apresentou o menor albedo em todas, ao contrario do rio Vacacaí-Mirim que possui maior albedo em todas as amostras, por conter maior concentração de TSS.

No comprimento de onda de 675 nm, que compreende a faixa do vermelho, observa-se que para as duas coletas (Figuras 5.10 e 5.11) houve feições de absorção expressivas para o rio Vacacaí-Mirim e com menor intensidade para o arroio Cadena, devido à absorção de clorofila. Em relação ao efeito provocado na faixa azul, observa-se que ocorreu aumento da reflectância apenas para a amostra do rio Vacacaí-Mirim do dia 07/12/2007 (Figura 5.11), já para a primeira amostra (30/11/2007), não se verificou variações na reflectância, isto pode ter ocorrido pela presença de matéria orgânica que provoca absorção na faixa do comprimento de onda correspondente ao azul.

Verifica-se que na segunda coleta realizada no dia 07/12/2007 (Figura 5.11) nos comprimentos de onda entre 750nm e 775nm, ocorreu certa semelhança entre os picos de reflectância e absorção, para o arroio Cadena e o rio Vacacaí-Mirim. Provavelmente estas semelhanças, ocorreram por interferência das condições climáticas e das concentrações de TSS no dia da coleta.

Podem-se comparar os resultados obtidos nesta pesquisa com os registrados por Gitelson et al. (2007), no qual avaliaram como visto na Figura 5.12 que a reflectância foi bastante variável ao longo da região espectral do visível e NIR. No intervalo de cerca de 550 nm, a absorção por pigmentos foi mínima e a dispersão causada pelos sólidos em suspensão foi o principal na reflexão. A reflectância apresentou um pico em torno 700 nm, isto porque, nesta faixa espectral, diminui a absorção *chl_a* enquanto aumenta a absorção pela água pura.

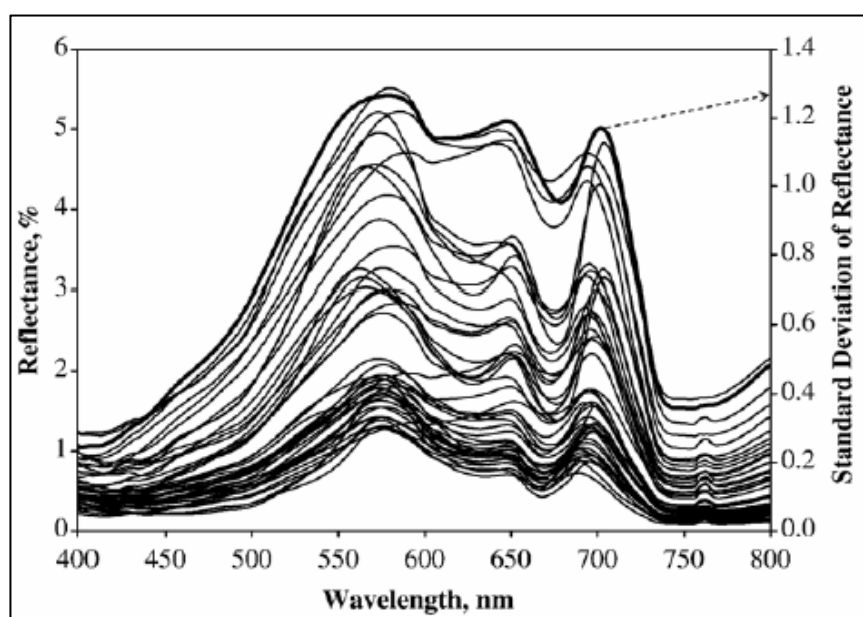


Figura 5.12 - Reflectância e desvio padrão na Baía de Chesapeake relacionadas a diferentes concentrações de clorofila (9mg/m^3 a 70mg/m^3).

Fonte: Gitelson et al (2007)

As medidas de reflectância em campo são mais sujeitas a variabilidade dos fatores de aquisição. O aumento da concentração de sedimentos em suspensão provoca aumento de reflectância em toda a faixa espectral estudada (CHEN et al, 1992; CURRAN; NOVO, 1988). Nota-se na curva da estação de coleta EC-30 (Figura 5.13), assim como nas Figuras 5.10 e 5.11 regiões de absorção em torno de 450 nm (A), 750 nm (C) e 900 (E).

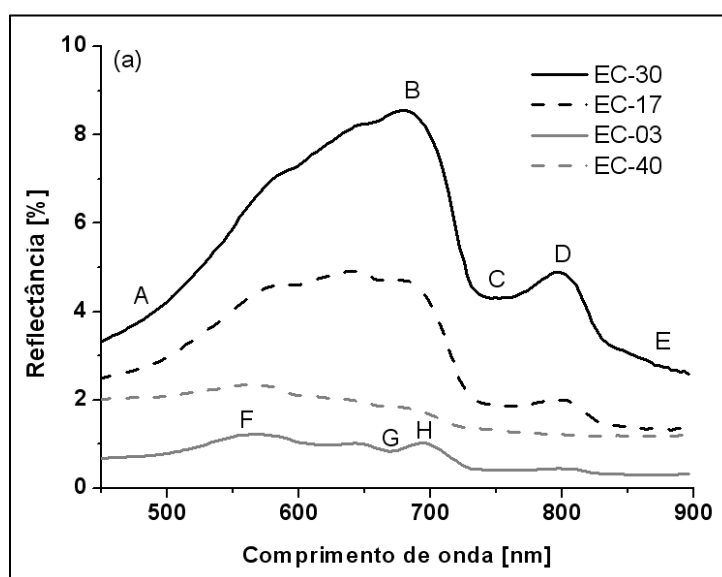


Figura 5.13 - Exemplos de espectros de reflectância de água medidos pelo Spectron nas estações de coleta durante a campanha de campo realizada entre 23/06/05 e 29/06/05, na região próxima à confluência dos rios Tapajós e Amazonas.

Fonte: Rudorff et al (2007).

As águas provindas de terra-firme e da chuva são relativamente ricas em nitrogênio que contribuem para a produção de fitoplâncton nas águas (RUDORFF et al, 2007). O que pode ter caracterizado a reflectância na faixa do verde para as amostras coletas.

Segundo Mertes et al (1993) a análise da reflectância pode também estimar a concentração de sólidos suspensos em águas de superfície, pois estes possuem baixa concentração nas faixas correspondentes ao azul e ao verde e elevada concentração nas faixas próximas ao infravermelho do espectro eletromagnético.

5.5 Conclusão

A baixa reflectância para o rio Ibicuí-Mirim é resultado da baixa concentração dos componentes opticamente ativos, pois este, como visto no capítulo 4, apresenta baixas

concentrações de TSS (1,1 a 4,5mg/L), elevada transparência (95 a 171 cm), e a baixa concentração de matéria orgânica em sua superfície como pode ser observado em campo. A água do rio Vacacaí-Mirim por ser turva (elevadas concentrações de TSS) tem reflectância maior que a água do rio Ibicuí-Mirim, verificada *in loco* como mais limpa. Neste rio foi observado nos espectros de reflectância feições de absorção típicas da clorofila. Os níveis tróficos desse ambiente provavelmente estejam proporcionando este quadro.

Já o arroio Cadena por estar no meio urbano apresenta características singulares, pois apesar de ser altamente poluído (suas margens apresentam grande quantidade de lixo e lançamento de esgoto sem tratamento) não apresentou concentrações elevadas de TSS (4,4 a 12,25 mg/L) o que pode ter ocasionado a sua baixa reflectância. Contudo, os picos observados principalmente na faixa correspondente ao verde, podem ter sido ocasionados pela presença de pigmentos fotossintetizantes oriundos da alta taxa de eutrofização do sistema aquático.

Todas as amostras apresentaram uma taxa de aumento em direção à faixa do verde (entre 500 nm e 600 nm), onde atingiram seu máximo, com os valores mais elevados sendo encontrados para as amostras do rio Vacacaí-Mirim. Este comportamento, provavelmente, se deve à presença de TSS na água e a clorofila, a qual exerce influencia na reflectância principalmente neste comprimento de onda (faixa do verde – 500nm a 600nm).

A reflectância das águas continentais depende da profundidade e das características do fundo. Embora a água seja clara, os corpos de água naturais podem parecer escuros devido à influência dos elementos constituintes do seu fundo. Características da água como profundidade, quantidade de materiais em suspensão (clorofila, argilas e nutrientes) e rugosidade da superfície, podem alterar o comportamento espectral da água.

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISE INTEGRADA DOS RESULTADOS

A interação dos sistemas terrestre e aquático é de fundamental importância para o estudo da qualidade das águas superficiais. Como visto durante o desenvolvimento da pesquisa as formas de uso da terra, podem afetar no metabolismo aquático e consequentemente em sua reflectância.

Após a análise de cada sub-bacia pode-se verificar que a transparência da água foi afetada diretamente pela forma de uso da terra de cada sub-bacia, isto é, as SB do rio Vacacaí-Mirim e Ibicuí-Mirim, apresentaram baixas transparências, nos períodos de incidência de chuvas, pois estas ocasionaram o depósito de sólidos nestes rios. Fato que também provocou alteração na reflectância, que apresentaram nestes períodos valores elevados para o rio Vacacaí-Mirim (picos de aproximadamente 570nm no comprimento de onda do verde(Figuras 5.10 e 5.11)).

A análise da declividade (Figura 3.9(c)), indicou que a sub-bacia do rio Vacacaí-Mirim por apresentar a maior declividade média (18,70%), foi o mais afetado pelo ambiente terrestre. Sendo uma área susceptível a problemas ambientais (processos erosivos) também pelo fato de ser uma área de ocupação urbana. Assim como a SB do rio Vacacaí-Mirim o arroio Cadena se encontra também urbanizado, mas sua ocupação é mais intensa, principalmente por apresentar a menor declividade média (inferior a 10%). Já a SB do rio Ibicuí-Mirim, por ter uma declividade média relativamente baixa, os problemas ambientais como assoreamento e erosão se tornam restritos, mas a ocupação da área pela agricultura se torna favorável o que pode acarretar na poluição das águas por agrotóxicos.

O mapeamento do uso e cobertura vegetal, para as três sub-bacias, mostrou a disparidade no que se refere à preservação de cada uma delas. Enquanto que a SB do rio Ibicuí-Mirim possui cerca de 5.649,24 ha de área florestada o rio Vacacaí-Mirim possui 3.507,72 ha e o arroio Cadena apenas 950,92 ha, como visto na Tabela 3.1. A ausência de vegetação as margens dos rios, influenciou diretamente nas variáveis limnológicas, transparência da água e TSS e por conseguinte na reflectância espectral da água.

As elevadas concentrações de TSS e a baixa transparência da água no rio Vacacaí-Mirim (Tabela 4.1), demonstraram o quanto o ecossistema terrestre exerce influência nessas variáveis. Tais influências estão relacionadas com os índices pluviométricos e demais

condições atmosféricas, uso e ocupação da terra (principalmente o manejo agrícola) e geomorfologia da região. Como visualizado na Tabela 4.1 e na Figura 4.6, o maior valor de TSS (42,4 mg/L) para o rio Vacacaí-Mirim, foi encontrado no dia 21/11/2007, fato relacionado à ocorrência de chuvas (Figura 4.4) dias anteriores à data da coleta. A concentração de TSS também aumentou no rio Ibicuí-Mirim, depois dos períodos chuvosos, na segunda (23/11/2007), terceira (26/11/2007) e quarta (28/11/2007) coletas, mas em menor grau, pois este se encontra consideravelmente mais preservado. Já para o arroio Cadena as chuvas exerceram um papel contrário, ou seja, nos períodos chuvosos o valor de TSS diminuiu, pois a água das chuvas removeu grande parte dos detritos despejados nesta sub-bacia. Quanto à transparência, por ser inversamente proporcional ao TSS, nos períodos em que este aumentou a transparência diminuiu. Contudo as chuvas também influenciaram na vazão destas SB, portanto ao se avaliar a transparência deve-se avaliar também a ocorrência de chuvas.

Segundo Cathcart; Wheaton (1987), a temperatura da água provavelmente tem maior influência sobre a vida e os sistemas aquáticos do que qualquer outra variável tomada isoladamente. Pelo fato da temperatura afetar a solubilidade dos gases na água, o aquecimento desta empobrece em oxigênio, influenciando assim a decomposição de matéria orgânica, com conseqüente efeito sobre a qualidade do líquido e sobre a vida de organismos aeróbios aquáticos (BRANCO, 1986). A temperatura da água (Figura 4.8) variou durante o período de coleta para todas as sub-bacias, apresentando média de 25,64 °C para o arroio Cadena, 27,86 °C para o rio Vacacaí-Mirim e 23,93 °C para o rio Ibicuí-Mirim (Tabela 4.1), sendo que os maiores valores foram encontrados em quase todas as coletas, tanto para a água quanto para o ar no rio Vacacaí-Mirim, fato também explicado pela pouca presença de vegetação nas margens do ponto escolhido para as coletas.

Na Figura 4.9(a), observou-se que, em todas as coletas de campo realizadas, a variância dos valores da condutividade elétrica, para o rio Ibicuí-Mirim, mostrou-se homogênea para todas as amostras, enquanto que para o rio Vacacaí-Mirim e o arroio Cadena ocorrem pequenas variações. Contudo, vale ressaltar que as maiores médias foram registradas, como visto na Tabela 4.1, para o rio Vacacaí-Mirim e o arroio Cadena, 325,8 μScm^{-1} e 486,6 μScm^{-1} , respectivamente. Decorrentes da influência de sólidos depositados e a baixa profundidade, registrada nestas sub-bacias, fato provavelmente relacionado com a grande ação antrópica nas proximidades. Os valores mais elevados de condutividade elétrica foram registrados nas coletas realizadas nos dias 03/12/2007 (563 μScm^{-1}) e 10/12/2007 (546 μScm^{-1})

para o arroio Cadena e nos dias 05/12/2007 e 10/12/2007 para o rio Vacacaí-Mirim, $388\mu\text{Scm}^{-1}$ e $397\mu\text{Scm}^{-1}$, respectivamente, nestes dias também foram registrados os maiores valores de condutividade para o rio Ibicuí-Mirim $68,7\mu\text{Scm}^{-1}$ (05/12/2007) e $67,9\mu\text{Scm}^{-1}$ (10/12/2007). Estes índices estão relacionados com as condições atmosféricas, principalmente a pluviosidade, que aumenta o depósito de sólidos e conseqüentemente de sais, os quais são provenientes de ações antrópicas, no caso do arroio Cadena pela urbanização e no rio Vacacaí-Mirim pela concentração de áreas agrícolas.

Os valores do pH também variaram em decorrência do uso da terra, 6,13 a 7,06 durante o período de coleta, onde o valor mais elevado (7,06) foi registrado para o rio Ibicuí-Mirim (Figura 4.9 (b)) para o dia 28/11/2007, sendo nesta avaliação as águas deste rio as mais indicadas para o consumo humano, mas os baixos valores (inferiores a 7,0) encontrados podem ser decorrentes da agricultura, existente nas proximidades do Reservatório Rodolfo Costa e Silva. Já o que apresentou valores mais baixos (em quase todas as coletas os valores foram inferiores a 7,0) de pH foi o arroio Cadena, em decorrência da maior quantidade de agentes químicos carregados para seu leito. O rio Vacacaí-Mirim também apresentou valores inferiores a 7,0, em decorrência, assim como no rio Ibicuí-Mirim, das atividades agrícolas, nesta sub-bacia.

As condições climáticas e a forma de uso e ocupação da terra, também aumentaram a concentração de matéria orgânica que, juntamente com os elevados índices de TSS, influenciaram na reflectância espectral da água nas sub-bacias. Enquanto que o rio Vacacaí-Mirim apresentou altos índices de reflectância (5.10 e 5.11) principalmente na faixa que corresponde ao verde (500 a 600 nm), no rio Ibicuí-Mirim foram visualizados baixos valores para esse comprimento de onda. Pois a concentração de clorofila, que está presente na água, provoca uma maior reflectância na região do verde.

O arroio Cadena, apresentou baixos valores para as análises de reflectância, apesar de ser bastante poluído, por estar inserido em área urbana, estes baixos valores são decorrentes dos índices pluviométricos que, ao contrario dos rios Vacacaí-Mirim e Ibicuí-Mirim, nesta bacia não carrega sólidos para o seu leito e sim os remove, deixando-o aparentemente mais “limpo”. Tais valores permitem mais uma vez verificar a relação entre os ecossistemas terrestre e aquático.

CAPÍTULO VII

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento dos sistemas aquáticos a partir do sistema terrestre mostrou-se fundamental para se entender o metabolismo aquático. Qualquer atividade humana pode interferir nos sistemas aquáticos, pois estes refletem o que ocorre na região. Portanto, ao se preservar o entorno de uma bacia hidrográfica, também se estará preservando o sistema aquático.

A grande diversidade biológica da maioria dos sistemas aquáticos, principalmente aqueles de água doce, constitui outra razão para sua conservação. As principais causas da perda da diversidade biótica nos sistemas aquáticos são o mau uso da água através de ações como barramentos, canalização, irrigação, controle de inundação, consumo doméstico e industrial, assoreamento, degradação de áreas alagáveis, poluição por esgotos domésticos e industriais, poluentes agrícolas.

A análise do uso da terra nas sub-bacias permitiu constatar por meio do levantamento das formas de uso o quanto cada uma delas é afetada pela ação antrópica. O arroio Cadena, como observado é o mais urbanizado, o rio Vacacaí-Mirim, considerado de uso misto (urbano e rural) e o rio Ibicuí-Mirim, o mais preservado, quanto à urbanização, mas com grande presença de áreas agrícolas, principalmente no entorno do Reservatório, tornando-se assim, uma área de conflitos ambientais. Com relação às áreas florestadas, principalmente no entorno dos pontos de coleta, pode-se verificar que o rio Ibicuí-Mirim se apresenta mais preservado, seguido pelo Vacacaí-Mirim.

As variáveis limnológicas apresentaram variação durante o período das coletas, especialmente nos períodos de ocorrência de chuvas, para as variáveis transparência (DS) e totais de sólidos em suspensão. Enquanto que nos rios Vacacaí-Mirim e Ibicuí-Mirim, a transparência sofreu uma diminuição e os sólidos em suspensão aumentaram, no arroio Cadena ocorreu o inverso.

Quanto à análise do comportamento espectral da água, os dados coletados revelaram o quanto os constituintes opticamente ativos podem afetar na sua resposta espectral. Como foi observado nas duas coletas realizadas picos de reflectância na faixa correspondente ao verde, devido à concentração de pigmentos fotossintetizantes e absorção na faixa do azul.

Estudos limnológicos associados ao uso da terra como o realizado na pesquisa se mostram de grande importância para o melhor entendimento do metabolismo dos sistemas aquáticos, bem como uma análise conjunta das condições atmosféricas e o período em que as amostras foram coletadas.

A metodologia adotada mostrou-se satisfatória, permitindo o levantamento, organização e integração de um grande volume de dados, de naturezas diferentes. O tratamento das variáveis limnológicas e do comportamento espectral da água, com base nos estudos do sistema terrestre mostraram-se fundamentais para os resultados alcançados.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. et al. Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL). **Advanced Training and users Manual**. Idaho Implementation, version 1.0, 2002. 98 p.

ALVARADO, P. M. **Cartografia del siglo XXI Geomática**. 2004. Disponível em: < http://www.igm.cl/Edu_Agosto_2004.htm >. Acesso em: 02/04/ 2006.

ANDERSON, L. O et al. Utilização de dados multitemporais do sensor MODIS para o mapeamento da cobertura e uso da terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, **Anais...** Goiânia, 2005. p. 3443-3450.

BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto na Dinâmica da Circulação da Água do Sistema Planície de Curai/Rio Amazonas**. 2005. 282 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos.

BORTOLUZZI, C. A. **Contribuição à geologia da região de Santa Maria Rio Grande do Sul, Brasil**. Porto Alegre: Instituto de Geociências da UFRGS, 1974, p. 7-86. (Pesquisas, v.4)

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária – Água**. 3. ed. São Paulo: Cetesb, 1986. 640 p.

BRASIL, Brasília. -Leis, decretos, etc.. -**Resolução CONAMA nº20, de 18/06/1986. Classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Diário Oficial**, (da República Federativa do Brasil), -Brasília/Br.: 11356-11361, 30/07/ 1986. Secção 1.

CABRAL, J. B. P. et. Caracterização geoambiental do reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG (Fase – 1). SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., 2003, Curitiba. Disponível em: < <http://geografia.igeo.uerj.br/xsbgfa/cdrom/eixo3/3.4/229/229.htm> >. Acesso em: 22/10/2007.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Apresentação. In: CÂMARA, G; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2002. cap. 1. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 16/09/2007.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**. New York: The Guilford Press, 1996. 622 p.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Ed. CPRM, 1994. 372 p.

CASAGRANDE, L. **Avaliação do parâmetro de propagação de sedimentos do modelo de williams (1975) na bacia do rio vacacaí-mirim com o auxílio de técnicas de geoprocessamento**. 2004. 242 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CASTILLERO, A. C. **Uso da terra por fotografias aéreas no município de Santa Maria, RS**. 1984. 47 f. Monografia (Especialização em Imagens Orbitais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CATHCART, T. P.; WHEATON, F. W. Modeling temperature distribution in freshwater pond. **Aquacultural Engineering**, v. 6 p. 237-257, 1987.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Variáveis de qualidade das águas**. São Paulo: CETESB, 2001 Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>>. Acesso em: 17/09/2007.

_____. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo: CETESB, 1987.

CHEN, Z. et al. Derivative reflectance spectroscopy to estimate suspended sediment concentration. **Remote Sensing of Environment**, v. 40, p. 67-77, 1992.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Rialp, 1990.

COGO, M. C.. **O papel dos sedimentos em suspensão no metabolismo de rios de micro e meso-escala no estado de Rondônia**. 2005. 77 f. Dissertação (Mestrado Ecologia dos Agroecossistemas), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: E. Blücher, 1980, 188 p.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Ed. IG/Unicamp, 1992. 170 p.

CURRAN, P. J. **Principles of remote sensing**. London: Longman, 1985, 282 p.

CURRAN, P. J.; NOVO, E.M.L.M. The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: a review. **Journal of Coastal Resources**, v. 4, p. 351-368, 1988.

DATT, B. Remote sensing of chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll a + b, and total carotenoid content in Eucalyptus leaves. **Remote Sensing of Environment**, Cleveland, v. 66, p. 111-121, 1998.

DEBERDT, A. J. **Qualidade da água**. Disponível em <<http://educar.sc.usp.br/biologia/prociencias/qagua.htm>>. Acesso em: 17/09/2007.

DEDINI, D. **Avaliação de um Sistema de Fluxo Contínuo de Desinfecção de Água por Radiação Solar, Cloração e Radiação Ultravioleta**. 2006, 101 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

DINIZ, F. J. A. **Geografia da agricultura**. 2. ed. São Paulo: DIFEL, 1984. 278 p.

DE FELIPPO, R. et al. As alterações na qualidade da água durante o enchimento do reservatório de UHE Serra da Mesa-GO. In: HENRY, R. **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. Botucatu: FUNDIBIO, 1999. p. 321-346

EPIPHANIO, J. C. N. **Dados TM Landsat-5 no Estudo das Culturas de Trigo e Feijão**. 1988, 160 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

_____. O Brasil tem uma massa crítica invejável na área de satélites, diz pesquisador do Inpe. **Ministério da Ciência e Tecnologia - Agência CT**, 2005. Disponível em: <<http://agenciact.mct.gov.br/index.php/content/view/25044.html?toPrint=yes>>. Acesso em: 20/12/2007.

EASTMAN, J. R. Idrisi for Windows – **Manual do usuário: introdução e exercícios tutoriais**. Editores da versão em português, Heinrich Hasenack; Eliseu Weber. Porto Alegre, UFRGS Centro de Recursos Idrisi, 1998. 240 p.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.

FARIA, R.; PEDROSA, A. Impactos da urbanização na degradação do solo urbano e sua relação com o incremento de inundações urbanas em Santa Maria da Feira. **INTERNATIONAL SYMPOSIUM IN LAND DEGRADATION AND**

DESERTIFICATION, 5., 2005, Uberlândia, **Anais...** Uberlândia, 2005. 12 p. Disponível em: <<http://web.letras.up.pt/aspedros/Inunda%C3%A7%C3%B5es%20urbanas%20St%20Maria%20da%20Feira.pdf>>. Acesso em : 19/11/2007.

FERREIRA, A. B. **Levantamento do meio físico do Município de Campo Florido/MG utilizando técnicas de geoprocessamento**. 2006. 68 f. Monografia (Conclusão do Curso de Geografia) - Universidade Federal Uberlândia, Uberlândia.

GALVÃO, L. S. et al. Spectral reflectance characterization of shallow lakes from the Brazilian Pantanal wetlands with field and airborne hyperspectral data. **International Journal Remote Sensing**, Londres, v. 24, n. 21, p. 4093–4112, nov., 2003.

GARCIA, E. A. C. **Biofísica**. São Paulo: Sarvier, 2000. 374 p.

GITELSON, A. A. et al. Remote chlorophyll-a retrieval in turbid, productive estuaries: Chesapeake Bay case study. **Remote Sensing of Environment**. Cleveland, v.109, p. 464–472, 2007.

GITELSON, A. A.; M. N. MERZLYAK. Spectral reflectance changes associate with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves: spectral features and relation to chlorophyll estimation. **Journal Plant Physiology**. v. 143, n° 3, p. 286-292, 1994.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M Encostas e questão ambiental. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **A questão ambiental: diferentes abordagens**. Rio de Janeiro, B. Brasil, 2003, p.191-218.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Degradação ambiental. In: CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: B. Brasil, 1996. p. 337-339.

HAYES, J. D.; SADER, A. S. **Change detection techniques for monitoring forest clearing and regrowth in a tropical moist forest, 1997**. Disponível em: <[http://ghcc.msfc.nasa.gov/corredor/change detection.pdf](http://ghcc.msfc.nasa.gov/corredor/change%20detection.pdf)>. Acesso em: 20/09/2007.

HUETE, A.R. A soil- adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**. Cleveland: Ed. ELSEVIER, v. 25, p. 295 – 309, 1988

ISAIA. T. **Planejamento de uso da terra para o município de Santa Maria- RS, através do diagnóstico físico conservacionista das microbacias hidrográficas**. Santa Maria. 1992. 60 p.

KIRK, J. T. O. **Light & photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 530 p.

KUPLICH, T. M. **Estudo da Complementaridade de Imagens Óticas (Landsat/Tm) e de Radar (Ers-1/Sar) na Discriminação Temática de Uso da Terra**. 1994, 134 f. Dissertação (Mestrado Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

LAGE FILHO, A. L. **Características ecológicas e limnológicas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Antas, no período de menores precipitações (Poços de Caldas - MG)**. 1996, 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos.

LARENTIS, D. G. **Modelagem Matemática da Qualidade da Água em Grandes Bacias: Sistema Taquari-ANTAS-RS**. 2004, 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LATORRE, M. L. **Utilização de um método de correção atmosférica para o processamento de dados hiperespectrais do sensor AVIRIS em regiões tropicais**. 1998, 202 f. Dissertação (Mestrado Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 2. ed. New York: J. Wiley, 1987, 850 p.

LIMA W. P.; ZAKIA, M. J. B. **Monitoramento de Bacias Hidrográficas em Áreas Florestadas**. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v.10, n.29, p.11 – 21, novembro 1996. Disponível em < <http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr29/cap03.pdf> > acesso em 22/10/2007

LIMA, D. L. et al. Aplicação do modelo de cores IHS na detecção de plantas aquáticas imersas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, **Anais...** Goiânia, 2005, p. 4115-4122.

LONDE, L. R. et al. Avanços no estudo do comportamento espectral do fitoplâncton e identificação remota de algas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, **Anais...** Goiânia, 2005, p. 389 - 396.

LORENA, R. B. **Evolução do uso da terra em porção da Amazônia ocidental (acre), com uso de técnicas de detecção de mudanças**. 1994, 116 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos.

LORENZZETTI, J. A. **Princípios Físicos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais, 2002.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 141-150, 2000.

MARGATHO, S. M. F. **Adequabilidade do Uso da Terra na Região do Médio Curso do Rio Pardo (SP) e Potencialidades de Ecoturismo**. 2004, 89 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

MARTINS, F. R. et al. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário - o Projeto Swera. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 26, n. 2, 2004. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-47442004000200010>. Acesso em 20/11/2007.

MCCLUNEY, W. R.; Ocean Color Spectrum Calculations. **Applied Optics**. v. 13, n. 10, p. 2422-2429, 1974.

MENCONI, D. Ciência, tecnologia & meio ambiente, **IstoÉ**. São Paulo, n. 1851, abril 2005, p. 46.

MELLO, N. C. **Conhecendo a Limnologia**. Disponível em <<http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=56&class=20>>. Acesso em: 17/10/2007

MERTES, L. A. K. et al. Estimating suspended sediment concentrations in surface waters of the Amazon River wetlands from landsat images. **Remote Sensing Environment**. Cleveland, v. 43, p. 281-301, 1993.

MILTON, E. J. Principles of field spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8 n. 12, p. 1807-1827, 1987.

MONICO, J. F. G., **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS Descrição, fundamentos e aplicações**. 1. ed. Presidente Prudente: Ed. UNESP, 2000.

MORAES, A. J. **Manual para Avaliação da Qualidade da Água** – Curso de especialização. Educação ambiental e recursos hídricos: perspectivas para o século XXI. São Carlos: Ed. Rima. Apoio Pró-ciências – Fapesp e Projeto Probio – MMA/Cnpq, 2001.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003, 304 p.

NOVO, E. M. L. M. Comportamento espectral da água. In: MENEZES, P. R.; NETTO, J. S. M. (Org.) **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UNB, p. 203-222, 2001.

_____. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2. ed., 3. Reimp. São Paulo: E. Blucher, 1998. 308 p.

NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Instituto Nacional de pesquisas Espaciais (INPE), Divisão de Sensoriamento Remoto, 2001. Disponível em < http://www.agro.unitau.br/sensor_remoto/apofla.pdf > acesso em 03/10/2007.

NOVO, E. M. L. M. et al. The effect of viewing geometry and wavelenght on the relationship between reflectance and suspended sediment concentration. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 8, p.1357-1372, 1989.

PACHECO, A. P., RIBAS, N. S., Sensoriamento Remoto aplicado ao Uso da Terra. GEODÉSIA online. **Revista da Comissão Brasileira de Geodésia**. Recife, v. 4, 1998.

PEREIRA, M. N. et al. **Técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento para mapeamento e análise do uso da terra**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1994. 19 p.

PEREIRA FILHO, W. **Integração de dados de campo e sensoriamento remoto no estudo da influência das características da bacia de captação na concentração de sólidos em suspensão em reservatório: o exemplo de Tucuruí**. 1991, 175 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1991.

_____. **Influência dos diferentes tipos de uso da terra em bacias hidrográficas sobre sistemas aquáticos da margem esquerda do reservatório de Tucuruí-Pará**. 2000. 138 f. Tese (Doutorado em Geografia Humana)-Universidade de São Paulo.São Paulo.

PEREIRA FILHO, W.; NOVO, E. M. L. M. Limnological variables and macrophyte infestation in Tucuruí reservoir - Pará - Brazil. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2002, Toronto. **Proceedings...** Toronto, 2002.

PEREIRA NETO, O. C. **Técnicas de geoprocessamento aplicadas ao estudo da adequação do uso do solo em bacias hidrográficas**. 1994, 124 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

POMPÊO, M.; CARLOS V. M. **A ecologia e limnologia no Brasil**, São Paulo, 2004. Disponível em < http://www.ib.usp.br/limnologia/Limnologia_no_Brasil/ >. Acesso em 17/10/2007

PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. **Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais**. Brasília DF: Ed. Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados, 2001. p 157-199.

PRADO, R. B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos**. 2004, 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

QUEIROZ, J. E. R.; GOMES, H. M. Introdução ao Processamento Digital de Imagens. **RITA**, v. 8, n. 1, 2001.

ROBERT, A. et al. Suspended sediment concentration estimation from multi-spectral video imagery. **International Journal Remote Sensing**, v.16, p. 2439-2455, 1995.

ROCHA, J. S. M. **Manual de projetos ambientais**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1997. p. 71-136.

ROCHA, J. S. M. **Educação Ambiental para os ensinos Fundamental, Médio e Superior**. 2. ed. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2000. 558 p.

ROCHA, M. B. B. **Levantamento do Meio Físico do Município de Araxá-MG utilizando Técnicas de Geoprocessamento**. 2006, 192 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia

ROSA, R et al. Elaboração de uma base cartográfica e criação de um banco de dados georreferenciados da bacia do Rio Araguari – MG. In: LIMA, S. C.; SANTOS, R. J. (Org.) **Gestão ambiental da bacia do Rio Araguari: rumo ao desenvolvimento sustentável**. Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Geografia. Brasília: CNPq. p. 69 – 87, 2004.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 5. ed., Uberlândia: Ed. EDUFU. 2003.

_____. Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento como instrumento de levantamento do meio físico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA E APLICADA, 7., 1997, Curitiba, **Anais...** Curitiba, 1997.

_____. **O uso de SIGs para o zoneamento: uma abordagem metodológica.** 1995. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo.

ROSA, R.; BRITO, J. L. **Introdução ao Geoprocessamento:** Sistema de Informação Geográfica. Uberlândia: Ed. da UFU, 1996.

ROSENDO, J. dos S. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do Rio Araguari - MG – utilizando dados do sensor MODIS.** 2005. f.130. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia.

ROUSE, J. W. et al. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation,** 1974. Greenbelt, MD: NASA/GSFC. 371p. Type III, Final Report.

RUDORFF, C. M. **Estudo da composição das águas da planície amazônica por meio de dados de reflectância do Sensor Hyperion/EO-1 e de espectrorradiômetro e campo visando a compreensão da variação temporal dos seus constituintes opticamente ativos.** 2006, 140 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) -. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos.

RUDORFF, C. M. et al. Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia. **Acta Amazônica.** v. 37, n. 2, p. 269 – 280, 2007

RUHOFF, A. L. et al. **Mapeamentos de Uso da Terra e Ocupação do Espaço Geográfico mm Santa Maria, RS.** Curitiba, n. 7, p. 87-94, 2003. Ed. UFPR. Disponível em <http://coralx.ufsm.br/mundogeo/Links/Publicacao_arquivos/RAE-2004-22.pdf> acesso em 22/08/2007.

SAUSEN, T. M. Introdução ao sensoriamento remoto. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 1996, São José dos Campos. **Caderno de atividades.** São José dos Campos: INPE, 1996.

SAUSEN, T. M. **Sensoriamento Remoto e suas Aplicações para Recursos Naturais.** Coordenadoria de Ensino, Documentação e Programa Especiais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP. Disponível em

<http://www.herbario.com.br/fotomicrografia07/senso_aplic_rec_natur.htm> acesso em 03/10/2007.

SELLERS JR, T. **Plywood and Adhesive Technology**. New York: Marcel Dekker, 1985. 661 p.

SEPLAN. Secretaria de Planejamento da Presidência da República. **Levantamento dos recursos naturais**. Rio de Janeiro, IBGE, 1986. 796 p.

SGARBI, L. Era Glacial: o que escondem de nós, **IstoÉ**. São Paulo, n. 1959, Ciência & Tecnologia, maio 2007, 74 p.

SOARES, J. V. **Introdução a Hidrologia de Florestas**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2006. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/~camilo/hidro/pdf/>>. Acesso em 22/04/2008.

SOUZA, B. S. P. **A qualidade da água em Santa Maria/RS: uma análise ambiental das sub-bacias hidrográficas dos rios Ibicuí Mirim e Vacacaí Mirim**. São Paulo. 2001, 234 f. Tese (Doutorado em Geografia Física). Universidade de São Paulo. São Paulo.

STEFFEN, C. A.; MORAES, E. C. SPECTRON SE-590: manual de referencia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba, **Anais...** Curitiba, 1993. p. 2-12.

STRASSBURGER, L. **Uso da Terra nas Bacias Hidrográficas do Rio do Peixe (SC) e do Rio Pelotas (RS/SC) e a Influência na Limnologia do Reservatório da UHE-ITÁ (RS)**. 2005, 80 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria

TUCCI, C. E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 2, p. 5-12, jul./dez.1997.

VIEIRA, L. S. **Manual da Ciência do Solo com Ênfase em Solos Tropicais**. São Paulo: Agronômica Ceres.1988, 464 p.

VIVATERRA. In: Vivaterra: **Sociedade de defesa, pesquisa e educação ambiental**. Rio de Janeiro,1993. Disponível em: < http://www.vivaterra.org.br/vivanet_glossario.htm >. Acesso em: 17/10/2007.