

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

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DE VARIÁVEIS
LIMNOLÓGICAS DO RESERVATÓRIO RODOLFO
COSTA E SILVA - RS, E O USO DA TERRA NA ÁREA
DE CAPTAÇÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Sérgio Celestino de Bona Sartor

**Santa Maria, RS, Brasil
2008**

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DE VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS
DO RESERVATÓRIO RODOLFO COSTA E SILVA - RS, E O
USO DA TERRA NA ÁREA DE CAPTAÇÃO**

por

Sérgio Celestino de Bona Sartor

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração em Análise Ambiental e Dinâmica Espacial, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geografia**

Orientador: Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho

**Santa Maria, RS, Brasil
2008**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Programa de Pós-graduação em Geografia e Geociências**

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

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DE VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS DO
RESERVATÓRIO RODOLFO COSTA E SILVA - RS, E O USO DA
TERRA NA ÁREA DE CAPTAÇÃO**

elaborada por
Sérgio Celestino de Bona Sartor

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geografia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Waterloo Pereira Filho, Dr.
(Presidente/Orientador)

Cláudio Clemente Faria Barbosa, Dr. (INPE - SP)

Roberto Cassol, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 20 de fevereiro de 2008.

Dedico aos meus amores:
filho *Eduardo* e esposa *Luciane*.

Aos meus queridos pais:
Alba (in memorian) e *Antônio*.

E aos meus irmãos:
Célio, Olga, Dilva, Donizete, Vilma, Edna e Edson (in memorian).

AGRADECIMENTOS

- A Deus, pela oportunidade e pela vida.
- À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), pela oportunidade de estudo, pesquisa e aperfeiçoamento técnico-científico e cultural.
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo custeio à pesquisa, Projeto PROCAD nº 258059 "Desenvolvimento de estudos e métodos para análise das características da água no contexto espaço-temporal".
- À Petrobrás Ambiental, através do Projeto nº 1230 - Centro Internacional de Projetos Ambientais (CIPAM), pelo apoio à pesquisa.
- À Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN - RS), pelo apoio logístico à pesquisa.
- Ao Professor Dr. Waterloo Pereira Filho, pela orientação ao Curso de Mestrado e pela compreensão e profissionalismo.
- Ao Professor Dr. Roberto Cassol, pela co-orientação ao Curso de Mestrado e pela atenção.
- Aos professores e colegas do Curso de Mestrado, pela atenção e amizade.
- Ao colega do Curso de Mestrado Flávio Wachholz, pelo apoio às pesquisas de campo e de laboratório em meu Curso. Um pesquisador incansável, profissional, leal e um grande amigo.
- Aos Professores Dr. Valderi e Erico, e à doutoranda Adriane M. Nunes, pelo apoio à pesquisa no Laboratório de Espectrometria Atômica - Departamento de Química/CCNE/UFSM.
- Às acadêmicas do Curso de Geografia Aline Biasoli Trentin, Carline Biasoli Trentin, Daniela Wancura Barbieri e Gisieli Kramer, que colaboraram nas coletas de campo.
- À Secretária Leonice Ferreira, pela assistência administrativa ao Curso de Mestrado.
- Ao Senhor Sérgio Antônio Martini - Engenheiro Civil da CORSAN - RS, pelo apoio administrativo à pesquisa.
- Ao Senhor José João R. de Vargas, funcionário da CORSAN - RS, pelo apoio na pilotagem do barco a motor para as coletas de campo.
- Aos meus amores, Luciane Vieira e Eduardo Vieira Sartor, minha eterna gratidão pelo amor, carinho, amizade, compreensão e abnegação, os suportes psicomorais da família.
- Aos meus queridos pais Antônio de Bona Sartor e Alba Gallon Sartor (*in memoriam*), pelo amor, carinho, amizade e pelo constante incentivo ao estudo e à cultura.
- Aos meus irmãos, pelo amor, amizade e incentivo.
- Aos chefes e colegas do Colégio Militar de Santa Maria.
- A todas as pessoas que de alguma forma proporcionaram algum apoio.

RESUMO

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

AVALIAÇÃO TEMPORAL DE VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS DO RESERVATÓRIO RODOLFO COSTA E SILVA - RS, E O USO DA TERRA NA ÁREA DE CAPTAÇÃO

AUTOR: SÉRGIO CELESTINO DE BONA SARTOR
ORIENTADOR: WATERLOO PEREIRA FILHO
Santa Maria, 20 de fevereiro de 2008.

A relação do homem com o ambiente, inicialmente, ocorre de forma natural. Passado algum tempo, há um acelerado crescimento populacional e surgem novas tecnologias, que intensificam as atividades antrópicas tanto no ambiente terrestre quanto no aquático, impondo assim, desequilíbrio na relação homem-natureza. Desse modo, quantitativa e qualitativamente, a água no planeta encontra-se em risco devido à poluição. Por isso, a conservação dos recursos hídricos é uma preocupação crescente dos órgãos públicos e privados. Estudos e pesquisas voltados à integração dos ecossistemas terrestre e aquático vêm se destacando, visando à proteção e preservação do ambiente. Dessa maneira, objetivando uma abordagem integrada dos ecossistemas terrestre e aquático, na dinâmica da qualidade ambiental, este trabalho identificou a relação entre as características limnológicas do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS, com o ecossistema terrestre, de acordo com o uso da terra e as características físicas da área de captação do Reservatório. Criou-se um banco de dados geográficos no aplicativo SPRING, que, utilizando cartas topográficas, imagens dos Satélites CBERS-2 CCD e do LANDSAT-5 TM e dados de GPS, foram elaborados os mapas temáticos de declividade, de uso da terra, de áreas de preservação permanente (APP) e de conflitos ambientais. Do resultado da análise desses dados, identificou-se que, quanto ao uso da terra na área de captação do Reservatório, predominaram dentro dos ciclos agrícolas, respectivamente, a agricultura, o campo e a floresta. Em relação às APP localizadas na faixa marginal das drenagens e no entorno das nascentes e do próprio Reservatório, à luz da legislação ambiental federal vigente, identificou-se que o local apresenta mais de 72% das APP com conflitos ambientais. A respeito das classes de declividade do relevo, a área de estudo é representada na maioria por formas plana a fracamente ondulada. Quanto à avaliação das características limnológicas do Reservatório, as diferenças mais expressivas ocorreram nas variáveis total de sólidos em suspensão (TSS), transparência da água e potencial Hidrogeniônico (pH). Portanto, pode-se inferir que as maiores alterações apresentadas pelas variáveis limnológicas no período de 20/10/2005 a 26/09/2006 estão vinculadas, de maneira geral, à primeira (20/10/2005), segunda (18/11/2005), quarta (06/01/2006), sétima (25/03/2006) e décima terceira (26/09/2006) coletas de campo, associadas com o uso da terra destinado às classes agricultura (especialmente solo exposto) e campo; e à influência dos maiores índices pluviométricos ocorridos a 26 e 7 dias anteriores à realização das coletas de campo. As diferenças nos tipos de uso da terra proporcionaram compartimentos limnológicos distintos, o que aponta a influência do ecossistema terrestre sobre o aquático no Reservatório.

Palavras-chave: variáveis limnológicas, bacia hidrográfica, uso da terra, cartografia, imagens de satélite.

ABSTRACT

Master Degree Dissertation
Post Graduate Program of Geography and Geosciences
Federal University of Santa Maria

TEMPORAL EVALUATION OF LIMNOLOGIC VARIABLES AT RODOLFO COSTA E SILVA RESERVOIR - RS, AND THE LAND USE IN THE DAM UP AREA

AUTHOR: SÉRGIO CELESTINO DE BONA SARTOR
TUTOR: WATERLOO PEREIRA FILHO
Santa Maria, February 20, 2008.

The relationship between man and environment initially happens in a natural way. After a while, there is an accelerated populational growth, and new technology comes, which intensifies the human actions both in the terrestrial environment and in the aquatic one, imposing, therefore, unbalance in the relation man-nature. Thus, quantitative and qualitatively, the water in the planet finds itself at risk due to pollution. Consequently, the hydrological resources conservation is an increasing concern among public and private organs. Studies and researches concerning the integration of terrestrial and aquatic ecosystems have outstood, aiming at protecting and preserving the environment. Hence, having an integrated approach of both terrestrial and aquatic ecosystems as an objective, prioritizing quality to the environment, this research identified the relation between the limnologic characteristics of Rodolfo Costa e Silva Reservoir - RS and the terrestrial ecosystem, according to the land use and the physical characteristics in the Reservoir dam up area. A geographical data bank was created in the SPRING applicative, which, making use of topographic maps, Satellite images CBERS-2 CCD and of LANDSAT-5 TM and GPS data, made it possible to elaborate thematic maps of declivity, land use, of permanent preservation areas (APP) and of environmental conflicts. From this data analysis result, it was identified that, concerning the use of land in the Reservoir dam up area, what predominated in the agricultural cycles, respectively, were the agriculture, the field and the forest. Regarding the APP located at the drainage marginal areas and around the springs and the Reservoir itself, according to the up-to-date federal environmental legislation, it was verified that the place presents more than 72% of the APP with environmental conflicts. As for the relief declivity classes, the study area is mainly represented by plain forms and some slightly wavy ones. About the Reservoir limnologic characteristics evaluation, the greatest differences happened in the variables total of solids in suspension (TSS), water transparency and hydrogen ion concentration (pH). Therefore, it can be inferred that the higher alterations presented by the limnologic variables from Oct. 20, 2005 through Sep. 26, 2006 are linked, in a general way, to the first (10/20/2005), second (11/18/2005), fourth (01/06/2006), seventh (03/25/2006) and thirteenth (09/26/2006) field collections, associated with the use of land destined to the agriculture classes (especially exposed soil) and field; and to the influence of the highest pluviosity registers occurred 26 and 7 days prior to the field collections. The differences in how to use the land provided distinct limnologic compartments, which points out to the influence of the terrestrial ecosystem in the aquatic one in the Reservoir.

Key-words: limnologic variables, drainage basin, land use, cartography, satellite images.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Faixa do espectro eletromagnético	25
Figura 2.2 - Sistema de aquisição de imagens de satélite	26
Figura 2.3 - Estrutura e organização de um banco de dados geográficos	29
Figura 2.4 - Representação vetorial e matricial (raster) de um mapa temático	30
Figura 3.1 - Fluxograma do procedimento metodológico	34
Figura 3.2 - Mapa da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	35
Figura 3.3 - Mapa dos compartimentos aquáticos do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	44
Figura 3.4 - Processo de medida e identificação do TSS do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	45
Figura 4.1 - Mapa de declividade da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS ..	48
Figura 4.2 - Mapa de uso da terra da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS ..	51
Figura 4.3 - Variação do nível da água do Reservatório durante o ano hidrológico	54
Figura 4.4 - Mapa das APP da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	55
Figura 4.5 - Mapa das áreas de conflitos ambientais da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	57
Figura 4.6 - Área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS, com conflitos ambientais da 5ª coleta de campo (01/02/2006)	58
Figura 4.7 - Variação da profundidade nos pontos amostrais do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	59
Figura 4.8 - Variação de índices pluviométricos correspondente a 26 e 7 dias anteriores à realização das coletas de campo do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	60
Figura 4.9 - Variação do TSS da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	62
Figura 4.10 - Mapa da variação do TSS da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	63
Figura 4.11 - Variação da transparência da água (DS) do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS ..	65
Figura 4.12 - Mapa da variação da transparência da água (DS) do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	68
Figura 4.13 - Variação da temperatura da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	70
Figura 4.14 - Variação da condutividade elétrica da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	73
Figura 4.15 - Variação do TDS da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	75
Figura 4.16 - Variação do pH da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Cronograma dos trabalhos de campo e de laboratório e registro das imagens de satélite, do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	39
Quadro 3.2 - Classes e chaves de interpretação visual dos tipos de uso da terra	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Classes de declividade da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	49
Tabela 4.2 - Classes de uso da terra e ciclos agrícolas da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	50
Tabela 4.3 - Estatística descritiva dos dados de vento a 10 metros da superfície (m/s), do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	60
Tabela 4.4 - Estatística descritiva dos dados de TSS (mg/L), do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	61
Tabela 4.5 - Estatística descritiva dos dados de transparência da água (DS - cm), do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	66
Tabela 4.6 - Estatística descritiva dos dados de temperatura da água (°C), do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	71
Tabela 4.7 - Estatística descritiva dos dados de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	74
Tabela 4.8 - Estatística descritiva dos dados de potencial Hidrogeniônico (pH), do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS	78

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

APP = Área de preservação permanente

c = Coleta de campo

CAP = Compartimentos aquáticos
preliminares

CAPES = Coordenação de Aperfeiçoamento
de Pessoal de Nível Superior

CBERS = Satélite de Recursos Terrestres
China e Brasil

CE = Condutividade Elétrica

CIPAM = Centro Internacional de Projetos
Ambientais

cm = centímetro

CONAMA = Conselho Nacional do Meio
Ambiente

CORSAN = Companhia Riograndense de
Saneamento

DS = Disco de Secchi

GPS = Sistema de Posicionamento Global

ha = hectare

INPE = Instituto Nacional de Pesquisas
Espaciais

Km² = Quilômetro quadrado

LANDSAT = Land Satellite

m = metro

m/s = metro por segundo

MDT = Modelo Digital do Terreno

mg/L = miligrama por litro

MNT = Modelo Numérico do Terreno

nm = nanômetro

NPV = Vegetação Não Fotossinteticamente
Ativa

OES = Observatório Espacial do Sul

OMS = Organização Mundial da Saúde

p = plana

PCD = Plataforma de Coleta de Dados

pH = potencial Hidrogeniônico

PROCAD = Projeto de Custeio às Pesquisas

RGB = cores dos canais da faixa de sinal do
visível (R = Red; G = Green; B = Blue)

RS = Rio Grande do Sul

SB = Sub-bacia

SIG = Sistema de Informações Geográficas

SIS = Sólidos Inorgânicos em Suspensão

SOS = Sólidos Orgânicos em Suspensão

SP = São Paulo

SPRING = Sistema de Processamento de
Informações Georreferenciadas

SURCEN = Superintendência Central da
CORSAN

TDS = Total de Sólidos Dissolvidos

TSS = Total de Sólidos em Suspensão

UFSC = Universidade Federal de Santa
Maria

µm = micrômetro

µS/cm = microsistema por centímetro

°C = Grau centígrado

% = Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo geral	17
1.1.1 Objetivos específicos	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Bacia hidrográfica	19
2.2 Integração dos ecossistemas terrestre e aquático	20
2.3 Construção de reservatórios e a limnologia	21
2.3.1 Variáveis limnológicas	23
2.4 Sensoriamento remoto	24
2.5 Geoprocessamento e sistema de informações geográficas	27
2.6 Mapeamento temático de declividade	30
2.7 Levantamento do uso da terra através da cartografia e de imagens de satélite	31
2.8 Levantamento de áreas de preservação permanente (APP) e de áreas de conflitos ambientais	32
3 METODOLOGIA	34
3.1 Delimitação e caracterização física e socioeconômica da área de estudo	35
3.2 Material e técnicas	37
3.2.1 Construção do Banco de Dados Geográficos	37
3.2.1.1 Ecossistema terrestre	39
3.2.1.2 Ecossistema aquático	42
3.2.1.2.1 Ciclos agrícolas	42
3.2.1.2.2 Condições atmosféricas	43
3.2.1.2.3 Medida e análise das variáveis limnológicas	43
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	47
4.1 Mapa temático de declividade	47
4.2 Mapa temático de uso da terra	50
4.3 Mapa temático das áreas de preservação permanente (APP)	54
4.4 Mapa temático das áreas de conflitos ambientais	56
4.5 Medida e análise das variáveis limnológicas	58
4.5.1 Total de sólidos em suspensão (TSS)	60
4.5.2 Transparência da água (DS)	64

4.5.3 Temperatura da água	69
4.5.4 Condutividade elétrica	72
4.5.5 Total de sólidos dissolvidos (TDS)	75
4.5.6 Potencial Hidrogeniônico (pH)	76
4.6 Análise integrada dos ecossistemas terrestre e aquático	79
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

1 INTRODUÇÃO

Há alguns milhões de anos, com o surgimento do homem pré-histórico, o ambiente passou a ser explorado, através da utilização racional de seus recursos naturais. A sua exploração tornou-se um problema a partir da metade do século XVIII, tanto pelo acelerado crescimento populacional quanto pela moderna tecnologia, determinada pela Primeira Revolução Industrial, que se agravou no século XX e início do XXI (marcados pela Terceira Revolução Industrial), uma vez que o homem passou a viver num mundo de alta tecnologia industrial, caracterizado pela sociedade de consumo, em que os interesses de uma minoria dominante prevalecem sobre as necessidades de muitos. Como consequência da forma como o homem se utiliza dos bens naturais, explora-os e transforma-os, hoje, ocorre um desequilíbrio tanto no ambiente terrestre quanto no aquático. Com isso, a preservação do ambiente sustentável, principalmente da limnologia, na atualidade, é um dos assuntos mais abordados e discutidos pela sociedade humana.

Entre os recursos naturais, a água é uma das substâncias mais difundidas na natureza, sendo encontrada em quase tudo o que nos cerca: nas rochas, no solo, na vegetação, no ar, nos animais (principalmente no homem, cujo organismo é constituído por cerca de 70% de água). É importante salientar que apenas cerca de 0,3% do total de água do planeta é de fácil acesso para o consumo da população mundial (BRANCO, 1997; TUNDISI et al., 1999).

Assim como todos os recursos, ela também se encontra em extinção, pois está ameaçada pela poluição, pela contaminação e pelas alterações climáticas que a sociedade vem impondo no seu desenvolvimento (BRANCO, 1997). Com o aumento da população e dos meios de produção, a demanda de água cresce diariamente, tornando-se esgotável. Essa escassez - quantitativa e qualitativa - fez com que dirigentes políticos, de partidos, de sindicatos, de órgãos públicos e privados e de ONGs, entre outros, tivessem a preocupação crescente com estudos e pesquisas voltados à preservação integrada dos ecossistemas terrestre e aquático e determinassem a necessidade de estipular um valor econômico para esse recurso hídrico, que deve aumentar com o tempo. Essa medida tem como vantagem a utilização racional da água; no entanto, apresenta a desvantagem de poder desencadear muitos problemas socioeconômicos e políticos (TUNDISI et al., 1999; MARTINS e VALÊNCIO, 2003).

Rocha (1997 apud TUNDISI et al., 1999 e FUCHS, 2002) afirma que existe um grande depósito estratégico de águas subsuperficiais, o Aquífero Guarani, o qual representa uma área aproximada de 1.195.200 Km² de água, abrangendo quatro países sul-americanos: o Brasil (que possui aproximadamente 70% dessa reserva), a Argentina, o Uruguai e o Paraguai. Formado pelo Sistema Hidroestratigráfico Mesozóico (Jurássico e Triássico), por depósitos de origem flúvio-lacustre-eólicos, esse aquífero é confinado pelos basaltos da Formação Serra Geral e por sedimentos Permo-Triássicos de baixa permeabilidade. Ainda segundo Rocha (1997), essa água é de excelente qualidade para o consumo doméstico, industrial, para irrigação e para o desenvolvimento de balneários (em função das médias térmicas serem superiores a 30°C). Porém, alerta para o fato de que o extrativismo nesse aquífero vem sendo feito de forma intensiva e inadequada, exigindo medidas urgentes de preservação sustentável, nos planos nacional e internacional.

O Brasil é um país privilegiado quanto à disponibilidade de recursos hídricos, pois possui 12% do total mundial. Mesmo assim, enfrenta problemas pela heterogeneidade de distribuição desses recursos, ou seja, apresenta regiões com água em abundância, como a região Norte; e outras com sérios problemas devido à falta de água, como a região Nordeste, que, além de menor disponibilidade de recursos hídricos, tem um índice populacional bem maior que a Amazônia (TUNDISI et al., 1999).

Segundo Magnoli et al. (2001), o Estado do Rio Grande do Sul, não muito diferente da realidade nacional, apresenta uma razoável rede hidrográfica, constituída pelas Bacias Hidrográficas do Uruguai e Atlântica/Sudeste. No início de sua ocupação e formação, os povos utilizavam as águas dos principais rios para o consumo doméstico e para a navegação. Com o passar do tempo, formaram-se vilas e cidades e, havendo elevada expansão destas e do crescimento populacional, aumentou a demanda de água doce tanto para o consumo doméstico e transporte fluvial como para a irrigação agrícola, atividade industrial e produção de hidroeletricidade; surgindo, assim, a necessidade de maior produção e reserva de água no Estado, principalmente de água tratada para o consumo da população.

Para atender a essa demanda, o governo do Estado do Rio Grande do Sul criou a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), com a finalidade de administrar a construção de reservatórios e lagos de captação de água tratada, para suprir a crescente demanda, e gerenciar sua manutenção e consumo. Como exemplo, destaca-se, na Figura 3.2, a área de estudo: o Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.

Nas sub-bacias hidrográficas da área de captação desse Reservatório, são desenvolvidas atividades agropecuárias, que disponibilizam elevado aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos para o ambiente aquático.

A respeito desse assunto, a literatura prescreve que a construção de reservatórios de água modifica as condições naturais de uma determinada seção do rio, como o ritmo e a vazão, formando ambientes lênticos e alterando o comportamento das variáveis limnológicas (BRANCO e ROCHA, 1977; KIMMEL et al., 1990; ESTEVES, 1998; TUNDISI et al., 1999; HENRY, 2003). Além disso, localmente, a formação de reservatórios apresenta influência no clima, na geomorfologia e na ecologia, modificando a fauna e a flora presentes nos ambientes terrestre e aquático, pois a alteração das características de um ecossistema pode levar à alteração no outro,

Um problema a ser resolvido refere-se às atividades humanas na área urbana. Elas geram todo tipo de lixo e esgoto a céu aberto. Na zona rural, também não é diferente, pois é produzido grande aporte de partículas, nutrientes e resíduos sólidos poluidores, como agrotóxicos utilizados nas lavouras. Essas substâncias, ao serem carreadas e depositadas nos rios, nos lagos, nos reservatórios e em outros mananciais, estão causando seu assoreamento, erosão do solo, grandes alterações físico-químicas e deterioração na qualidade da água, como a falta de oxigênio devido ao crescimento exagerado das plantas aquáticas e, conseqüentemente, a morte da ictiofauna (BRANCO e ROCHA, 1977; ODUM, 1983; ESTEVES, 1998; TUNDISI et al., 1999).

A avaliação do uso da terra, na área de captação das bacias ou sub-bacias hidrográficas que drenam para um reservatório, é relevante, pois elas influenciam nas características limnológicas desse reservatório, que recebe todo o material e fluxo energético (água, carga sólida e dissolvida) das bacias ou sub-bacias que nele deságuam. Isso ocorre principalmente em áreas de preservação permanente (APP) atingidas pela ação antrópica, através do desmatamento de florestas e demais formas de vegetação natural (com destaque para as matas ciliares ou galerias) e pela ação natural da geomorfologia (inclinação das vertentes ou encostas), que causam, com maior facilidade nos solos expostos, erosões eólica e hídrica (TUCCI, 1993; ESTEVES, 1998; PEREIRA FILHO, 2000).

Dessa forma, preservar as APP, ou seja, as florestas e demais formas de vegetação natural, de acordo com resoluções estabelecidas pelo Código Florestal Brasileiro (1965) e pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 1985/2002), é fundamental se houver o interesse em conservar as características dos ecossistemas terrestre e aquático. Nesse sentido, é conceito generalizado entre as organizações mundiais de preservação do ambiente

que uma região correspondente a uma Unidade de Planejamento com manejo integrado (Região Fisiográfica, Estado, Bacia ou Sub-bacia Hidrográfica, Município ou Propriedade Rural) deve possuir, no mínimo, 25% de cobertura florestal e demais formas de vegetação natural para que se estabilizem os processos de erosão, assoreamento dos rios, dos lagos, dos reservatórios e demais mananciais, enchentes, produção de matéria-prima e fixação da mão-de-obra no meio rural (ROCHA, 1999).

Nesse sentido, têm-se realizado estudos e pesquisas visando à preservação, à exploração e ao uso racional do ambiente. Aliados a esses estudos, vem-se destacando o uso de tecnologias modernas, como o sensoriamento remoto, o geoprocessamento e o sistema de informações geográficas (SIG), como ferramentas no monitoramento, tanto de variáveis do ecossistema terrestre quanto aquático, objetivando uma visão integrada da preservação e/ou deterioração desses ecossistemas (ROCHA, 1997; NOVO, 1998; ESTEVES, 1998; ASSAD e SANO, 1998; MOREIRA, 2005).

Essas informações, referentes ao tema deste trabalho e aos problemas causados pela integração entre os ecossistemas terrestre e aquático, são pertinentes ao estudo da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva. É importante salientar ainda que esse Reservatório fornece cerca de 60% de água tratada para o consumo de aproximadamente 265.000 santa-marienses (FIBGE, 2007), denotando a importância do estudo e pesquisa do tema proposto na referida área. Este trabalho deve contribuir à comunidade científico-cultural e à própria comunidade de consumo local, no sentido de alavancar novas informações, sugestões e perspectivas.

O desenvolvimento do tema desta pesquisa contou com o apoio logístico da sede de campo do Centro Internacional de Projetos Ambientais (CIPAM), que está vinculado à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e é patrocinado pela PETROBRÁS AMBIENTAL, além do apoio da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), através do Projeto de custeio às pesquisas, PROCAD nº 258059.

De acordo com essa perspectiva, procurou-se alcançar os objetivos propostos a seguir:

1.1 Objetivo geral

Identificar a relação entre as características limnológicas do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS com o ecossistema terrestre, de acordo com o uso da terra e com as características físicas na área de captação das sub-bacias do Reservatório.

1.1.1 Objetivos específicos

- Diagnosticar, temporal e limnologicamente, o ambiente aquático do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS, nas variáveis: total de sólidos em suspensão (TSS), transparência da água, temperatura da água, condutividade elétrica, total de sólidos dissolvidos (TDS) e potencial Hidrogeniônico (pH);
- Identificar os diferentes tipos de uso da terra e as classes de declividade presentes na área de captação das sub-bacias do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, através da cartografia e de imagens de satélite;
- Avaliar possível relação entre o padrão limnológico do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, o uso da terra e formas do relevo na área de captação das sub-bacias do Reservatório;
- Identificar as áreas de preservação permanente (APP), em função da rede de drenagem e da geomorfologia, e determinar as áreas de conflitos ambientais, com base no uso da terra e em resoluções estabelecidas pelo Código Florestal Brasileiro (1965) e pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 1985/2002), na área de captação das sub-bacias do Reservatório Rodolfo Costa e Silva;
- Relacionar as sub-bacias hidrográficas da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva aos respectivos compartimentos aquáticos do Reservatório, através da cartografia e de imagens de satélite.

O trabalho está dividido em seis capítulos: no primeiro capítulo, está o desenvolvimento desta introdução, abordando o tema, os objetivos e uma apresentação geral desta dissertação; no segundo capítulo, desenvolve-se a revisão bibliográfica, fundamentando conhecimentos e características de bacias hidrográficas, integração dos ecossistemas terrestre

e aquático, construção de reservatórios e a limnologia, sensoriamento remoto, geoprocessamento e SIG, mapeamento temático (de declividade, de uso da terra, de APP e de áreas de conflitos ambientais); no terceiro capítulo, encontra-se a metodologia empregada no desenvolvimento de métodos, materiais e técnicas utilizados nos trabalhos de campo e de laboratório; no quarto capítulo, encontram-se a análise e a discussão dos resultados; no quinto capítulo, são feitas as considerações finais da dissertação, através de uma síntese da análise e discussão dos resultados (verificando em que medidas os objetivos propostos foram alcançados), seguida de sugestões e/ou recomendações a pesquisas futuras; e, no último capítulo, aparecem as referências bibliográficas utilizadas na respectiva dissertação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Objetivando adquirir conhecimento e informações teórico-científicas, realizou-se a revisão bibliográfica dos assuntos a seguir, abordados neste trabalho: bacia hidrográfica; integração dos ecossistemas terrestre e aquático; construção de reservatórios e a limnologia; sensoriamento remoto; geoprocessamento e SIG; mapeamento temático de declividade; levantamento do uso da terra através da cartografia e de imagens de satélite; e levantamento de áreas de preservação permanente e de áreas de conflitos ambientais.

2.1 Bacia hidrográfica

Uma bacia hidrográfica pode ser definida como sendo uma área drenada por um sistema de drenagem inter-relacionado, controlado por um divisor (linha de cumeeada que divide as precipitações pluviométricas em diferentes bacias e liga os pontos mais elevados da região em torno da bacia considerada) e que drena água, material sólido e dissolvido para uma saída comum que pode ser um rio, lago, lagoa, reservatório ou oceano (VILLELA e MATOS, 1978; RAMOS, 1989; GUERRA e CUNHA, 1996).

Guerra (1980) elucida que bacia hidrográfica é um "conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes, onde se encontram alojadas cabeceiras ou nascentes, divisores d'água, cursos d'água principal, afluentes, subafluentes". Ressalta ainda que o conceito de bacia hidrográfica deve incluir uma noção de dinamismo, devido às constantes modificações que ocorrem nas linhas divisoras de água, sob o efeito dos agentes erosivos, alargando ou não a área da bacia.

As bacias hidrográficas constituem-se em uma unidade básica de área ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais por elas definidos, representando ecossistemas adequados para a avaliação dos impactos causados pela ação antrópica, que podem acarretar desequilíbrios e riscos, tanto no ambiente terrestre quanto no aquático. As bacias hidrográficas estão legalmente definidas como unidade básica de área para estudos e projetos em todo o território nacional, devendo unir os interesses de todos os segmentos da sociedade nos termos de abastecimento, saneamento, habitação, lazer, preservação do

ambiente, produtividade e de bem-estar de toda a comunidade (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990; ROCHA, 1999).

Os autores anteriormente citados consideram que, para a consecução dos objetivos pretendidos nos trabalhos com bacias hidrográficas, são necessárias ações de todos os segmentos produtivos do governo (federal, estadual e municipal) e participação da iniciativa privada, principalmente, dos pequenos produtores.

Assim, é importante que se tenha o conhecimento da potencialidade real e das limitações de uso dessas áreas para conservar o ambiente em equilíbrio, uma vez que a bacia hidrográfica representa um papel relevante e pressupõe a participação integrada dos diferentes agentes, para que haja desenvolvimento e sustentabilidade ambiental na administração, principalmente da água, das florestas e demais formas de vegetação natural (GUERRA e CUNHA, 1996).

2.2 Integração dos ecossistemas terrestre e aquático

Pode-se dizer que as maiores perturbações causadas aos ecossistemas, principalmente aquáticos, advêm das atividades desenvolvidas pela sociedade humana no ambiente terrestre. Como exemplo, podemos citar a grande geração de resíduos industriais, a ausência de tratamento de esgotos, o manejo inadequado do solo, o uso indiscriminado de produtos químicos na agricultura, os acidentes com combustíveis fósseis, bem como lixo e animais mortos que são jogados diretamente nos mananciais de água. Essas atitudes causam alterações na qualidade da água, poluindo-a, contaminando-a e causando doenças nos animais e no homem ao consumi-la.

Conforme Christofolletti (1980), os elementos que compõem o ecossistema são matéria e energia. Por exemplo, no sistema bacia/sub-bacia hidrográfica, a matéria é representada pela água e pelos detritos, e a energia corresponde às forças que fazem o sistema funcionar. Para o autor, o ambiente deve ser visto como um conjunto de elementos interligados, que obedecem aos processos de estabilidade. Ele deve ser avaliado dentro de uma abordagem sistêmica, levando-se em consideração a escala espacial local, regional e nacional.

Porém, vários autores, entre eles Bertoni e Lombardi Neto (1990), chamam a atenção para o fato de que os trabalhos de manejo do solo e da água têm sido decorrentes de ações isoladas em nível de propriedade rural, o que impede uma visão ampla do todo, isto é, do aproveitamento integrado dos recursos naturais: solo, água, flora e fauna.

Um ecossistema são sistemas abertos que fazem parte de sistemas maiores de sub-bacias e de bacias hidrográficas. Suas características são dependentes dos ambientes adjacentes, como as águas de seus afluentes e subafluentes, geomorfologia, vegetação, solo e atividades antrópicas (ODUM, 1983; MOTA, 1997; ESTEVES, 1998; TUNDISI et al., 1999).

A cobertura vegetal na área de captação dos lagos ou reservatórios, rios e mananciais em geral é um dos principais fatores naturais na preservação da qualidade da água dos mesmos. A retirada da vegetação no entorno dessas áreas determina maior fluxo de partículas e nutrientes sólidos e de produtos químicos escoados para dentro do ecossistema aquático, ocasionando alteração nas características limnológicas da água (gerando a eutrofização, ou seja, aumentando a produção de matéria orgânica na água), causando a diminuição de oxigênio dissolvido e, conseqüentemente, produzindo gases venenosos que matam a ictiofauna e tornam a água imprópria para o consumo do homem e dos animais (TUCCI, 1993; ESTEVES, 1998; ROCHA, 1999; TUNDISI et al., 1999).

As águas das chuvas, chocando-se com o solo, determinam a compactação da sua superfície, transportam e sedimentam as partículas, nutrientes e materiais finos, reduzindo assim a dimensão dos espaços intergranulares e, dessa forma, atenuando a capacidade de infiltração. Caso o solo encontre-se coberto por florestas e demais formas de vegetação natural, o escoamento superficial da água é dificultado, favorecendo a sua infiltração (PINTO et al., 1976).

Sabe-se que, através da geomorfologia, é possível planejar a preservação do ambiente, o uso racional dos recursos naturais e a correção de falhas causadas pela ação antrópica, em todos os seus aspectos, desde as modificações das paisagens até a poluição, numa tentativa de minimizar as distorções topográficas (PENTEADO-ORELLANA, 1985).

2.3 Construção de reservatórios e a limnologia

As alterações ambientais causadas com a criação de lagos artificiais são de grande importância para o monitoramento da qualidade da água, uma vez que a construção de um reservatório de água altera significativamente as condições naturais de uma determinada seção do rio. As alterações no ritmo e na vazão do rio fazem com que locais de correnteza se transformem em ambientes lânticos, modificando as características físicas da água (BRANCO e ROCHA, 1977; TUNDISI et al., 1999).

O desvio da água, reduzindo a vazão do rio, prejudica a vida aquática e terrestre, ocorrendo modificações nas variáveis limnológicas como, por exemplo, nas taxas de oxigênio, no total de sólidos em suspensão, no total de sólidos dissolvidos, entre outros (TUNDISI et al., 1999). Assim, para que se possa entender a dinâmica das variáveis limnológicas, é preciso primeiramente ter uma visão geral da estrutura e funcionamento do ecossistema aquático, chamado de metabolismo do ecossistema aquático, que, segundo Esteves (1998), compreende três etapas principais: produção, consumo e decomposição.

Um dos fatores que influenciam no metabolismo do ecossistema aquático são as plantas aquáticas. Conforme Pereira Filho (2000, p.22), "o desenvolvimento de plantas aquáticas está relacionado com a disponibilidade de luz, temperatura da água, velocidade da água, concentração de nitrogênio, fósforo e carbono inorgânico dissolvido". Além disso, as plantas são influenciadas pelo relevo submerso que pode ajudar a determinar condições específicas dentro de um lago ou reservatório d'água.

Uma informação importante que deve ser levada em conta, quando há necessidade de construir novos reservatórios ou lagos de captação de água, é a necessidade de limpeza das áreas a serem inundadas. Não basta simplesmente submergir a vegetação existente, provocando sua putrefação, nem proceder à queima generalizada da mata, situação em que as cinzas tornam o solo fértil e a vegetação passa a crescer mais rapidamente do que a lâmina de água quando do enchimento do reservatório. Isso causa grandes alterações limnológicas e na qualidade da água, como eutrofização (aumento da produção de matéria orgânica, resultando na deterioração dos lagos, formando gases venenosos que matam a ictiofauna e tornam a água imprópria para o consumo do homem e dos animais), demanda de oxigênio e assoreamento dos lagos ou reservatórios d'água (BRANCO e ROCHA, 1977).

Comentando as alterações causadas na água através dos diferentes tipos de uso da terra, Pereira Filho (2000) relata que as florestas e demais formas de vegetação natural da terra inundada e de sua área de captação proporcionam diversos graus de eutrofização dos lagos, lagoas ou reservatórios de água natural ou artificial, alterando significativamente as características limnológicas da água, o que acarreta modificações na flora e na fauna, tanto terrestre quanto aquática.

2.3.1 Variáveis limnológicas

Uma variável limnológica é determinada pelo valor das características físico-químicas e biológicas existentes num corpo de água, principalmente em um reservatório ou lago de captação de água. Dentre as variáveis limnológicas que recebem influência do ecossistema terrestre, bem como das atividades nele realizadas, tem-se o **total de sólidos em suspensão (TSS)**. De acordo com Pereira Filho e Galvão (1997), a concentração de sólidos em suspensão está normalmente relacionada ao tipo de uso da terra, à geomorfologia, ao solo e à geologia das bacias hidrográficas que drenam aos reservatórios. Quanto maior for a quantidade de partículas e nutrientes sólidos concentrados na água, mais difícil será a absorção da luz, ou seja, menor será a zona eufótica na coluna de água, ocorrendo, portanto, uma queda acentuada de energia disponível para realização do metabolismo no ecossistema aquático (CURRAN e NOVO, 1988; PEREIRA FILHO, 2000). O TSS é uma variável limnológica que está intrinsecamente relacionada com o ecossistema terrestre (principalmente com as classes de uso da terra na área rural) e com as condições atmosféricas, pois o aporte de partículas e nutrientes sólidos carregado para o ambiente aquático é facilitado pela geomorfologia, pelo desmatamento, pelo solo exposto (preparo do solo para plantio), pelos índices pluviométricos e pelo vento.

A disponibilidade de luz no ecossistema aquático influencia diretamente no seu metabolismo (PEREIRA FILHO, 2000). A porção iluminada da coluna d'água é denominada zona eufótica e pode variar desde alguns centímetros até dezenas de metros. A avaliação da **transparência da água** de maneira mais simples é obtida através do disco de Secchi. Entretanto, ocorrem alguns fatores limitantes para se obter melhor fidelidade nos resultados, como horário da coleta e medida dos dados, cobertura de nuvens, precipitação, entre outros.

O disco de Secchi, para avaliar a transparência da água, é utilizado amplamente e quase universalmente, devido principalmente a sua facilidade no transporte e na obtenção dos dados (KIRK, 1996; ESTEVES, 1998; PEREIRA FILHO, 2000).

A **temperatura da água** é outra variável limnológica importante em estudos de ambientes aquáticos, pois ela é um dos fatores que governam a existência e a interdependência dos organismos e espécies aquáticas (peixes, bactérias, algas, plantas aquáticas, entre outros).

A temperatura da água é fortemente influenciada por elementos e fatores climáticos e pela variação diária da temperatura do ar atmosférico, bem como de outras variáveis limnológicas, como o TSS e a transparência (TUCCI, 1993). Ela é diretamente proporcional à

transparência (zona eufótica) e inversamente proporcional ao TSS, isto é, quanto maior a temperatura da água, maior a transparência e, portanto, menor o TSS presente na água e vice-versa.

A **condutividade elétrica** é uma variável limnológica de vital importância no metabolismo do ecossistema aquático, por estar relacionada à capacidade de propagar energia e às partículas e nutrientes sólidos dissolvidos na água (TDS), podendo ajudar na identificação de fontes poluidoras (ESTEVES, 1998; PEREIRA FILHO, 2000). Um dado importante a saber é que o valor de condutividade elétrica é inversamente proporcional ao valor de índice pluviométrico, isto é, quanto maior o valor da condutividade elétrica, menor o valor do índice pluviométrico, e vice-versa.

O **total de sólidos dissolvidos (TDS)** é outra característica limnológica relevante para o metabolismo dos ecossistemas aquáticos e para a água de consumo humano, pois, em concentrações elevadas, a água passa a ter um sabor desagradável. Conforme a classificação mundial da água, água doce é aquela que apresenta teor de TDS inferior a 1000 mg/L (BRANCO e ROCHA, 1977; TUNDISI et al., 1999).

Outra variável a considerar é o **potencial Hidrogeniônico (pH)**, porque as alterações nos seus valores podem pôr em risco a sua qualidade, acarretar mudanças químicas e, conseqüentemente, provocar danos à vida aquática, ao homem, aos animais e ainda causar problemas nas tubulações das redes de distribuição de água (BRANCO e ROCHA, 1977). O pH tem uma escala que varia de 0 a 14. Na água, onde os valores do pH são menores que 7,0, essa água é considerada ácida; quando temos pH igual a 7,0, a água é considerada neutra e, para valores de pH maiores que 7,0, a água é considerada alcalina. A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda teores máximos de pH para água de consumo, variando entre 7,0 e 8,5 (TUCCI, 1993; ESTEVES, 1998).

2.4 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto pode ser definido como a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre alvos (objetos, elementos e fenômenos geográficos) da superfície terrestre, sem que haja contato físico entre eles. As informações sobre o alvo, nesse caso, são derivadas a partir de detecção e mensuração das modificações que ele impõe sobre os campos de força que o cercam. Os dados do alvo são transferidos para o sensor através da energia solar (radiação eletromagnética). Esses dados adquiridos pelos sensores são

armazenados, processados e analisados e, assim, torna-se possível a extração de informações sobre o ambiente terrestre (NOVO, 1998). Portanto, a interação da radiação eletromagnética com os alvos da superfície terrestre e com o próprio solo depende, sobretudo, das características de cada um dos alvos e do ambiente que os cerca (MOREIRA, 2005), apresentando, dessa forma, diferentes quantidades de energia absorvida e refletida, o que possibilita a discriminação de diversas ocupações da superfície terrestre, pois cada alvo possui respostas espectrais diferenciadas. Desse modo, na Figura 2.1, observa-se, que o espectro eletromagnético abrange nove faixas. No entanto, a tecnologia de sensoriamento remoto opera principalmente nas faixas do espectro refletivo (visível e infravermelho próximo), respectivamente, na faixa de sinal entre 400 a 720nm e entre 720 a 1300nm, que detectam e imageiam os alvos naturais da superfície terrestre: água, vegetação (floresta, campo e agricultura), solo e rochas (NOVO, 1998; ROCHA, 2000; MOREIRA, 2005).

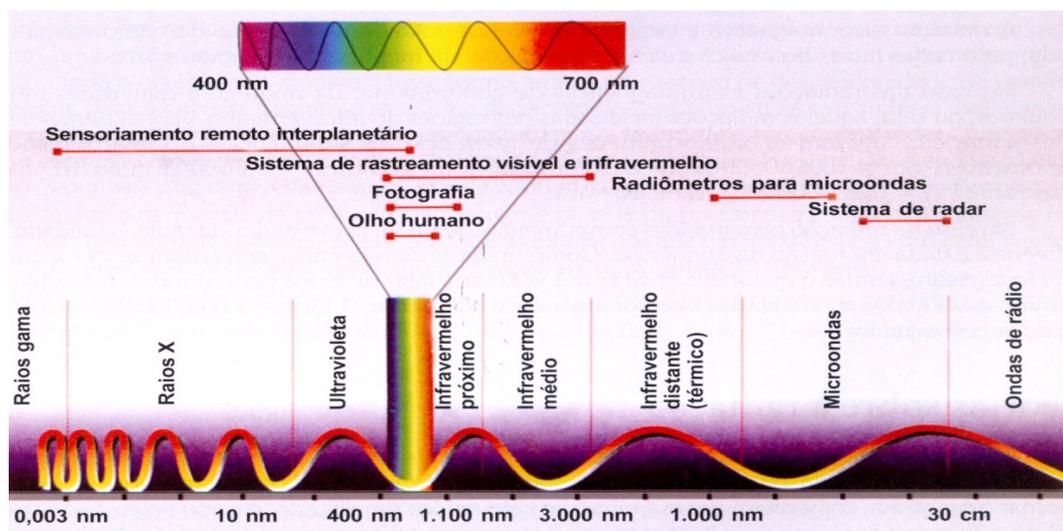


Figura 2.1 - Faixa do espectro eletromagnético.

Fonte: Moreira (2005).

Segundo Novo (1999 apud ROCHA, 2000), no sensoriamento remoto, o sistema de aquisição de informações é formado por alguns subsistemas importantes: *sistemas sensores* - equipamentos instalados nos satélites que detectam e registram a radiação eletromagnética refletida (reflectância) de um alvo; *sistema de processamento de dados* - converte o dado bruto produzido pelo sensor em variável física possível de ser interpretada e convertida em informação (sinal inteligível); *sistemas de análise* - incluem todas as ferramentas, destacando-se o SIG, que permite integrar a informação derivada de sensoriamento remoto às outras fontes. A Figura 2.2 apresenta uma estrutura de aquisição de imagens de satélite.

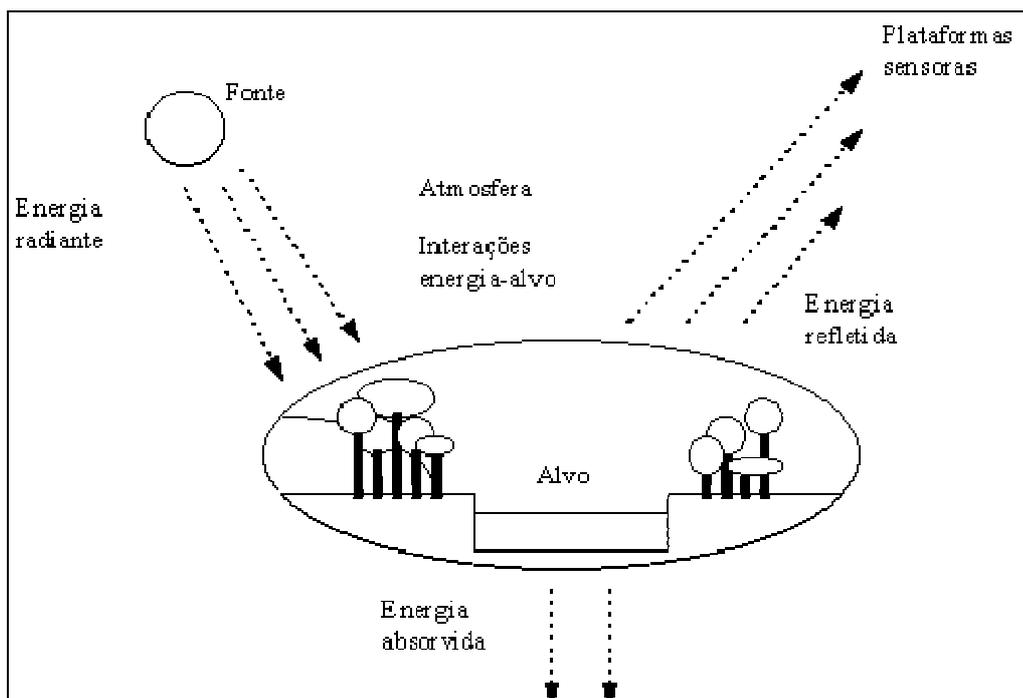


Figura 2.2 - Sistema de aquisição de imagens de satélite.

Fonte: Adaptado de Jensen (2000).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desenvolveu, em cooperação com a Academia Chinesa de Tecnologia Espacial, um satélite de observação de recursos terrestres, denominado CBERS - *Chinese Brazilian Earth Resources Satellite*, que foi lançado em 14/10/1999, na base chinesa de Taiwan, na primeira versão CBERS-1. É o primeiro satélite sino-brasileiro e seu protótipo foi construído no Laboratório de Integração e Testes do INPE, em São José dos Campos - SP. Na continuidade do programa, em 2001, foi lançado o CBERS-2, que tem capacidade de aquisição de imagens com especificações compatíveis com os atuais sistemas LANDSAT e SPOT (ROCHA, 2000).

A recepção dos dados do CBERS-2 CCD é feita pelas estações de Pequim, na China, e de Cuiabá, no Brasil, local onde foi instalada uma nova antena de rastreamento, de modo a permitir a recepção de todas as órbitas dos satélites sobre o Brasil, sem problemas de conflitos de horários de passagem com outros satélites. Esse sistema de processamento tem capacidade de geração de produtos em quantidade e qualidade melhores que o sistema em operação em Cachoeira Paulista-SP, assim como facilidades de acesso aos dados e informações sobre os produtos disponíveis por usuários remotos, através de linhas telefônicas ou via Internet. As principais características técnicas do CBERS-2 com o sistema sensor CCD são: produz imagens de diferentes ângulos de visada, permitindo gerar Modelos Digitais do Terreno (MDT) para edição de cartas topográficas ou de outras aplicações que necessitem de

informações de níveis e declividade do terreno; opera nas bandas B1, B2, B3, B4 e B5, respectivamente nas faixas espectrais entre 450 a 520nm, 520 a 590nm, 630 a 690nm, 770 a 890nm e 510 a 730nm (banda PAN); possui alta resolução espacial de 20m x 20m, resolução temporal de 26 dias e largura do campo de visada da imagem na superfície da Terra de 120 Km; sua órbita Norte/Sul cobre todo o país, com aplicações para coleta de dados e imagens ambientais dos principais recursos naturais da superfície terrestre: água, vegetação (floresta, campo e agricultura), solo e rochas (NOVO, 1998; ROCHA, 2000; MOREIRA, 2005).

O mapeamento temático, a partir das bandas 2, 3 e 4 dos Satélites CBERS-2 CCD e LANDSAT-5 TM, depende das características da região, da época do ano e das variações regionais. Mesmo que não seja possível utilizar operacionalmente dados de sensores remotos para estimar a natureza e as propriedades da água e monitorar a sua qualidade, os dados de sensoriamento remoto são de grande utilidade no planejamento de estratégias de amostragem dos sistemas aquáticos, na integração desses dados e na localização das informações obtidas. Como exemplo, podemos citar a combinação das bandas 2, 3 e 4 com os canais RGB do CBERS-2 CCD, que mostra mais claramente os limites entre solo e água, com a vegetação mais discriminada (ROCHA, 2000; MENEZES e NETTO, 2001). Desse modo, o sensoriamento remoto é uma ferramenta que auxilia a cartografia na localização e no conhecimento dos alvos (objetos, elementos e fenômenos geográficos) da superfície terrestre. Destacam-se, na atualidade, sensores remotos hiperespectrais, que contêm centenas de bandas fornecendo mais de uma centena de imagens de um mesmo local, para que se possam delas extrair as informações sobre a natureza e as propriedades dos alvos da superfície terrestre.

Pode-se, então, definir sensoriamento remoto como tecnologia ou produto que utiliza sensores para detecção e aquisição de dados brutos, refletidos (reflectância) pela ação da energia solar ou radiação eletromagnética de alvos (objetos, elementos e fenômenos geográficos) da superfície terrestre, sem que haja contato físico entre eles. Esses dados adquiridos pelos sensores são registrados, armazenados e, após seu processamento e análise, geram sinal e/ou informação inteligível de interesse ao homem sobre os recursos naturais dos ecossistemas terrestre e aquático.

2.5 Geoprocessamento e sistema de informações geográficas

Segundo Lisboa Filho (2002), o termo Sistema de Geoprocessamento engloba todos os sistemas matemático-computacionais capazes de processar dados georreferenciados,

principalmente o SIG. O mesmo autor descreve que quatro aspectos caracterizam um dado georreferenciado: o atributo descritivo do fenômeno geográfico, sua localização geográfica, relacionamentos espaciais com outros fenômenos geográficos e instante ou intervalo de tempo em que o fenômeno geográfico existe ou é válido.

De acordo com Lisboa Filho (2002), as áreas de aplicação de SIG podem ser divididas em cinco grupos principais: ocupação humana, uso da terra, uso dos recursos naturais, atividades econômicas e meio ambiente.

Em um sistema de geoprocessamento, os dados estão sempre georreferenciados, isto é, localizados na superfície da Terra através de uma projeção cartográfica. O principal objetivo desse sistema é fornecer ferramentas computacionais para que as evoluções espaço-temporais e as interrelações dos fenômenos geográficos possam ser determinadas e analisadas. Segundo Câmara e Medeiros (1998); Burrough e McDonnell (1998), os instrumentos computacionais do geoprocessamento são conhecidos como SIG e permitem a realização de análises complexas integrando dados de diversas fontes e criando banco de dados georreferenciados.

Para Felgueiras e Guaraci (1988 apud TRENTIN, 2003), o SIG, através de Planos de informações (Pi), permite integrar, em uma única base de dados, informações provenientes de diversas fontes, tais como: mapas temáticos, cartas topográficas ou MNT (curvas de nível e declividades), redes viária e de drenagem, tipos e uso do solo, sistema de coordenadas, imagens de satélite e dados tabulares na forma não gráfica.

De acordo com Câmara e Medeiros (1998), o SIG apresenta uma ampla gama de aplicações como em floresta, campo, agricultura, cartografia, cadastro urbano e redes, entre outras; além disso, esses autores indicam pelo menos três importantes maneiras de utilizar um SIG:

- como ferramenta para elaboração/produção de mapas;
- como suporte para análise espacial de fenômenos;
- como um banco de dados geográficos, com função de armazenamento e recuperação da informação espacial e sua atualização no tempo.

Visualiza-se, na Figura 2.3, um banco de dados geográficos, no qual são inseridos Projetos e respectivos Planos de informações para a melhor estrutura e organização dos diferentes tipos de dados e informações que variam em número, tipos de formato e de temas.

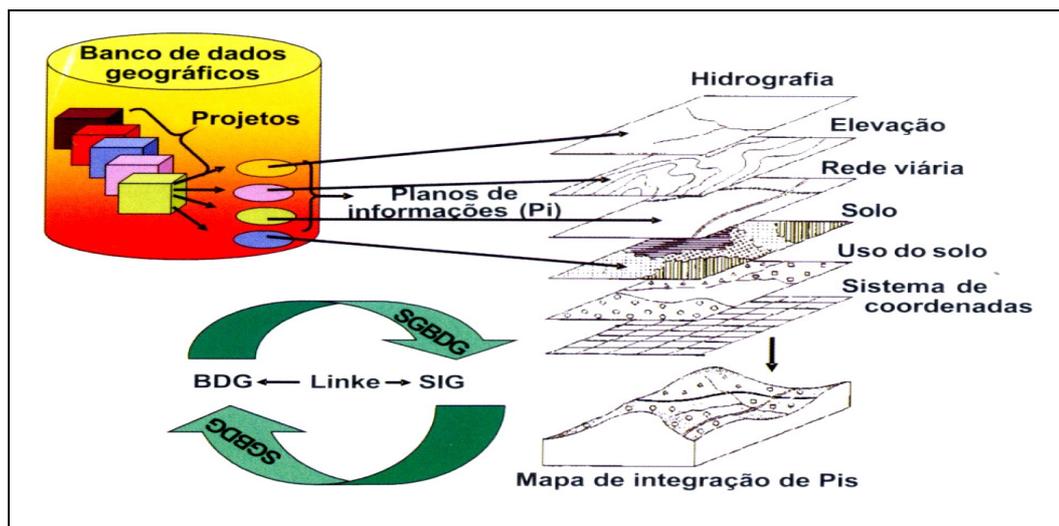


Figura 2.3 - Estrutura e organização de um banco de dados geográficos.
Fonte: Moreira (2005).

Segundo Câmara e Medeiros (1998), os mapas podem ser representados através de duas grandes classes computacionais: a vetorial e a matricial (Figura 2.4). Um alvo (objeto, elemento e fenômeno geográfico) da superfície terrestre, na representação vetorial, é uma tentativa de reproduzi-lo o mais exato possível. Consideram-se três elementos gráficos: ponto, linha e área ou polígono (entidades geográficas), delineados por um conjunto de coordenadas. As linhas, arcos ou elementos lineares são um conjunto de pontos conectados que, além das coordenadas (X e Y) que compõem a linha, deve armazenar informações quanto a dados não-espaciais (atributos descritivos) que a ele está associado. Na representação matricial (raster), o espaço é representado por uma matriz $P(m,n)$, composta de m colunas e n linhas, em que cada célula possui um número de coluna, um número de linha e um valor z correspondente ao atributo descritivo estudado. Cada célula pode ser acessada individualmente pelas suas coordenadas, ou seja, cada célula é associada a uma porção do terreno relacionada à sua resolução. Alguns SIGs permitem a integração dessas duas representações.

A aquisição e a entrada dos dados espaciais num SIG, geralmente, ocorrem de quatro formas: digitalização em mesa, digitalização ótica, entrada de dados obtidos em campo em formato analógico e também na forma digital, que inclui a importação de dados em outro formato. Assim, é preciso digitalizar os dados cartográficos necessários para o mapeamento digital e projetos de SIG com Planos de informações.

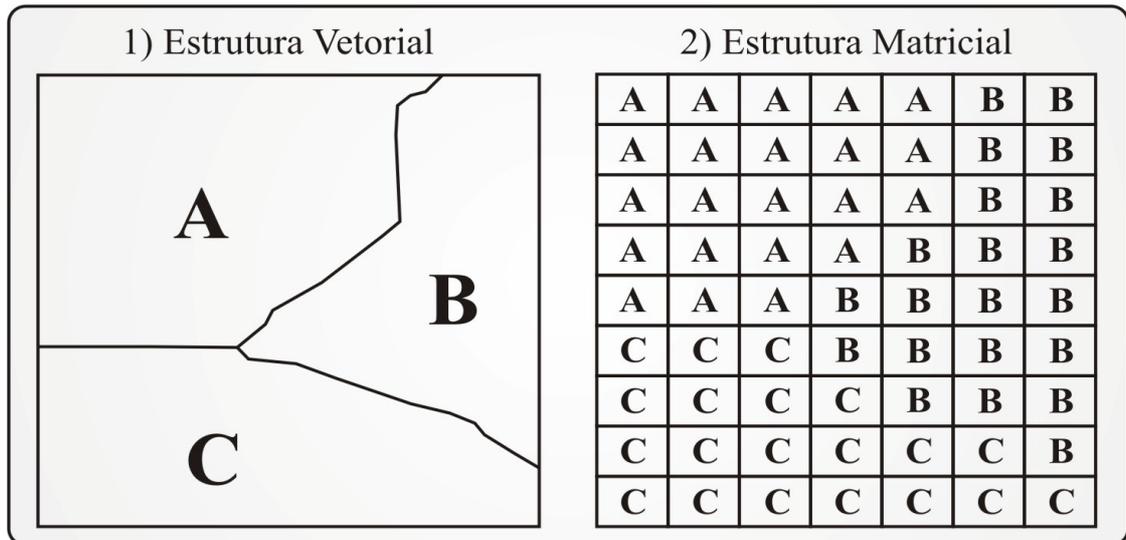


Figura 2.4 - Representação vetorial e matricial (raster) de um mapa temático.

Fonte: Adaptado de Câmara e Medeiros (1998).

Segundo Câmara e Medeiros (1998), para produzir mapas de distância (como geocampos), o usuário deve fazer uso de geobjetos, que são atributos descritivos ou espaciais de referência em cada ponto, linha ou área/região na carta, e da identificação de áreas com uso adequado ou inadequado, associados ao relevo e à rede de drenagem, possibilitando assim, entre outras técnicas, a elaboração de mapas temáticos de APP.

2.6 Mapeamento temático de declividade

A Geografia, em uma de suas interfaces, oportuniza o estudo da geomorfologia como um importante componente da natureza, visto que permite analisar as formas de relevo que compõem a superfície da Terra. As atividades humanas desenvolvidas em determinada área estão relacionadas ao relevo. Desse modo, a relação sociedade-natureza vem despertando o interesse dos pesquisadores, bem como da sociedade de um modo geral. Os problemas ambientais que surgem em decorrência dos processos erosivos podem estar relacionados com a modelagem natural do relevo, bem como com a aceleração da deterioração ambiental causada pela intensa e inadequada utilização antrópica.

A caracterização geomorfológica de bacias hidrográficas se mostra como um caminho para analisar o quadro ambiental. Segundo Ross (1990), a análise da geomorfologia pode ser realizada através da interpretação das cartas topográficas (geram informações de altimetria e distâncias dos interflúvios). As imagens de satélite, em sensoriamento remoto, mostram-se como uma ferramenta para possibilitar o mapeamento geomorfológico taxonômico. Dessa

forma, Guerra e Cunha (1996) afirmam que, embora em um mapa a forma do relevo se apresente de maneira estática, assim como a drenagem, a geomorfologia também é uma importante tecnologia na interpretação de alvos da superfície terrestre. Por exemplo, através das curvas de nível e declividades representando as encostas, podem-se obter informações sobre características geológicas, de solo (partículas e nutrientes sólidos) e da intensidade do escoamento de águas superficiais.

Sabe-se que, através da geomorfologia, é possível planejar a preservação do ambiente, o uso racional dos recursos naturais e a correção de falhas causadas pela ação antrópica, em todos os seus aspectos, desde as modificações das paisagens até a poluição, numa tentativa de minimizar as distorções topográficas (PENTEADO-ORELLANA, 1985).

Desse modo, com a necessidade de planejar a exploração de forma racional dos recursos naturais do ambiente e de aproveitar tecnologias modernas de geoprocessamento, SIG e sensoriamento remoto na construção de um banco de dados geográficos georreferenciados, tanto a bacia hidrográfica e a rede de drenagem quanto as feições geomorfológicas são, na atualidade, unidades de elevada importância no manejo integrado do espaço sustentável.

2.7 Levantamento do uso da terra através da cartografia e de imagens de satélite

O homem, por motivos variados, principalmente pela busca de riqueza e pelo acelerado crescimento da população, tem utilizado a terra de forma intensiva, inadequada e irracional nos mais diversos setores de atividade econômica, geralmente, desmatando as florestas e demais formas de vegetação natural para o desenvolvimento dessa atividade, ocasionando inúmeros distúrbios locais, regionais e até globais.

A evolução das tecnologias de sensoriamento remoto, geoprocessamento e SIG, principalmente a partir da década de 1970, contribuiu para o aumento do uso de imagens de satélite no monitoramento de uso da terra, visando ao planejamento, à exploração e ao uso adequado e racional dos recursos naturais da superfície terrestre (GIANSANTI, 1998; VENTURIERI e SANTOS, 1998).

Novo (1998) relata que a vegetação representa um dos diferentes alvos naturais da superfície da terra que, além de estar sujeita a modificações constantes, apresenta-se na natureza em diversas formas e tamanhos, como floresta, campo e cultura agrícola. Nesse sentido, essa variedade de vegetação determina uma estrutura diferente das copas e estado

fenológico, permitindo discriminar os diferentes tipos de cobertura vegetal através de tecnologias de sensoriamento remoto, geoprocessamento e SIG.

As informações temáticas obtidas de imagens de sensoriamento remoto utilizam o processo digital através de programas matemático-computacionais. Essas informações de alvos naturais da superfície terrestre são reconhecidas pelo sensor devido a feições e padrões registrados na imagem. O processamento digital determina facilidade e rapidez na extração de informações de imagens em sensoriamento remoto; porém, o usuário da tecnologia deve ter contato com o tipo de manipulação ao qual irá submeter seus dados para interpretar os resultados de forma correta (NOVO, 1998; VENTURIERI e SANTOS, 1998).

Recomendam-se algumas combinações de imagens coloridas de bandas dos Satélites CBERS-2 CCD e LANDSAT-5 TM para aquisição de diferentes informações. A combinação das bandas 2, 3 e 4 mostram mais claramente os limites terra-água, com vegetação mais discriminada. De uma maneira geral, a combinação dessas bandas é utilizada na classificação dos tipos de uso da terra (ROCHA, 2000; MENEZES e NETTO, 2001).

2.8 Levantamento de áreas de preservação permanente (APP) e de áreas de conflitos ambientais

Rocha (1997) estipula que as áreas de preservação permanente são áreas destinadas à manutenção intacta dos ecossistemas. Assim, em vista do estabelecimento e da importância das APP e das áreas de conflitos ambientais, observam-se o uso da terra e as resoluções estabelecidas pelo Código Florestal Brasileiro (1965) e pelo CONAMA (1985/2002).

O Código Florestal Brasileiro, Lei nº 4771/1965, prevê que são áreas de preservação permanente as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

- a) Ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde seu alto curso em faixa marginal cuja largura mínima seja:
 - de 30 metros para os cursos d'água que tenham menos de 10 metros de largura;
 - de 50 metros para os cursos d'água que tenham de 10 a 50 metros de largura;
 - de 100 metros para os cursos d'água que tenham de 50 a 200 metros de largura;
 - de 200 metros para os cursos d'água que tenham de 200 a 500 metros de largura;
- b) Ao redor de lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;
- c) As nascentes, ainda que intermitentes, e nos chamados olhos d'água, qualquer que seja a situação topográfica, num raio de 50 metros de largura;
- d) O topo dos montes, morros, serras e montanhas;

- e) As encostas ou parte dessas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% da linha de maior declive;
- f) Em altitudes superiores a 1800 metros, qualquer que seja a vegetação;
- g) Nas bordas dos tabuleiros ou chapadas a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 metros em projeção horizontal;
- h) Nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues.

O CONAMA, através de resoluções 1985/2002, estabelece que são reservas ecológicas e APP as florestas e demais formas de vegetação natural situadas a 100 metros do entorno dos lagos ou reservatórios d'água.

As APP de florestas e demais formas de vegetação natural, de acordo com o que estabelecem as resoluções do Código Florestal Brasileiro (1965) e do CONAMA (1985/2002), são de suma importância para a preservação e/ou conservação dos mananciais de água, pois ajudam a evitar a erosão e o assoreamento dos cursos fluviais e lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais; portanto, nas APP em que esse tipo de vegetação encontra-se ausente, é recomendável o reflorestamento.

A partir disso, observa-se que as APP relacionam-se, principalmente, com a preservação das matas ciliares ou galeria, que, conforme Costa (2000) desempenham importantes funções hidrológicas e ambientais, das seguintes formas: estabilização das ribanceiras dos rios, como tampão e filtro entre os terrenos mais altos e o ecossistema aquático; filtragem e diminuição do escoamento superficial impedindo ou dificultando o carreamento de nutrientes sólidos para o sistema aquático; equilíbrio térmico da água, pela integração com a sua superfície e absorção da radiação solar. Também é possível constatar que as áreas de conflitos ambientais são aquelas que contrariam as leis de preservação e/ou conservação ambiental anteriormente descritas.

Nesse sentido, o geoprocessamento é fundamental, pois permite a identificação de APP e áreas de conflitos ambientais, com rapidez, através de operações de análise espacial e de procedimentos matemáticos (toponímia) efetuados sobre o banco de dados georreferenciados, armazenados no sistema em forma de informações temáticas e tabelas. Dessa forma, esse recurso possibilita produzir geocampos, isto é, mapas de distância, com destaque para mapas temáticos de APP (CÂMARA e MEDEIROS, 1998).

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento metodológico deste trabalho, utilizou-se o procedimento sistêmico, integrando os dados coletados dos ecossistemas terrestre e aquático, para a medida, identificação e análise desses dados, conforme a Figura 3.1 a seguir.

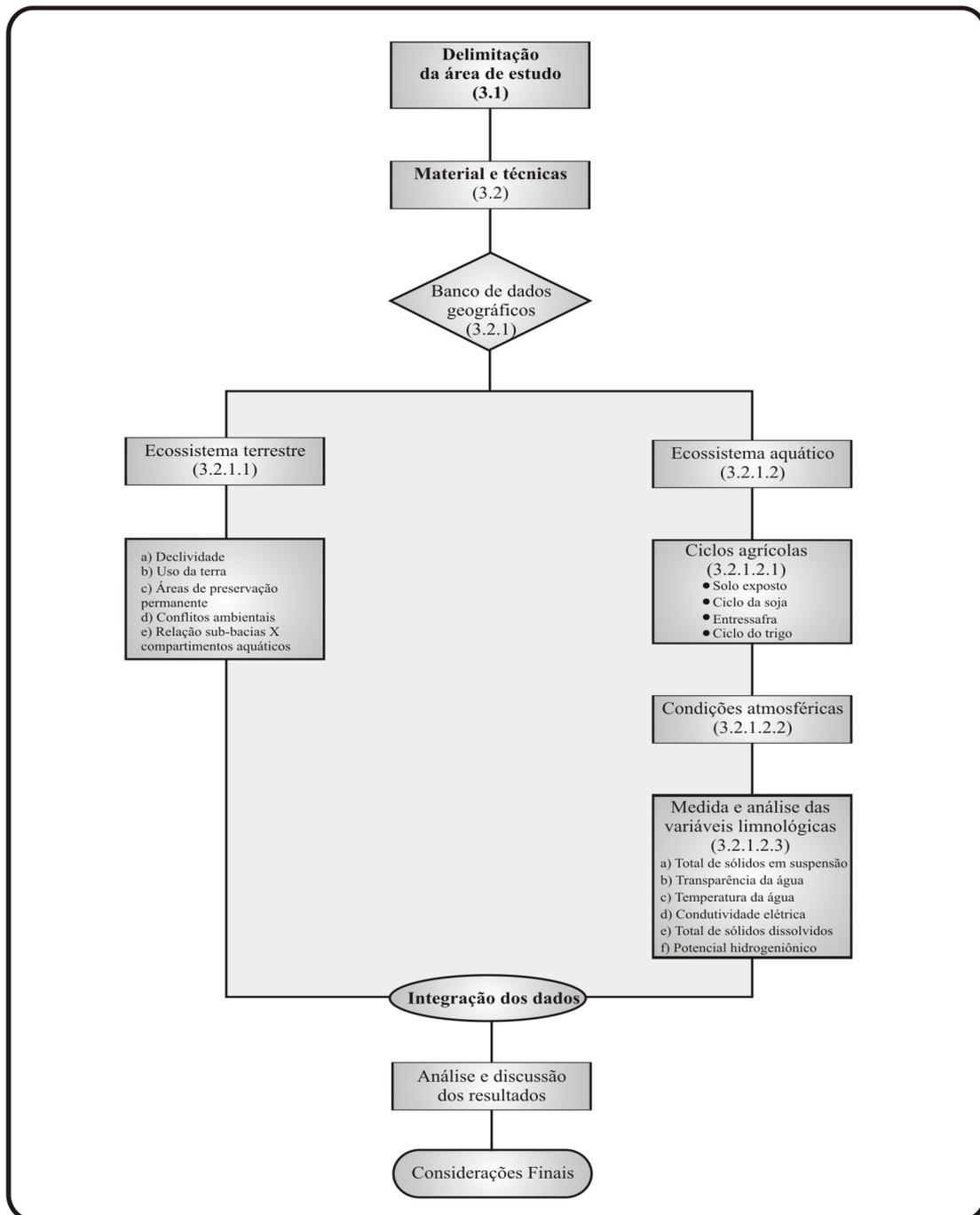


Figura 3.1 - Fluxograma do procedimento metodológico.
Fonte: Sartor (2005/2006).

3.1 Delimitação e caracterização física e socioeconômica da área de estudo

A bacia hidrográfica - do rio Ibicuí-Mirim - apresenta área aproximada de 4.880 hectares, estando localizada entre as coordenadas geográficas $29^{\circ} 26' 38''$ e $29^{\circ} 31' 41''$ de latitude Sul, e $53^{\circ} 40' 47''$ e $53^{\circ} 45' 43''$ de longitude Oeste. O Reservatório Rodolfo Costa e Silva, situado nessa bacia hidrográfica, apresenta área aproximada de 275 hectares e encontra-se entre as coordenadas geográficas $29^{\circ} 29' 01''$ e $29^{\circ} 30' 57''$ de latitude Sul, e $53^{\circ} 43' 32''$ e $53^{\circ} 45' 29''$ de longitude Oeste, conforme apresentado na Figura 3.2 a seguir.

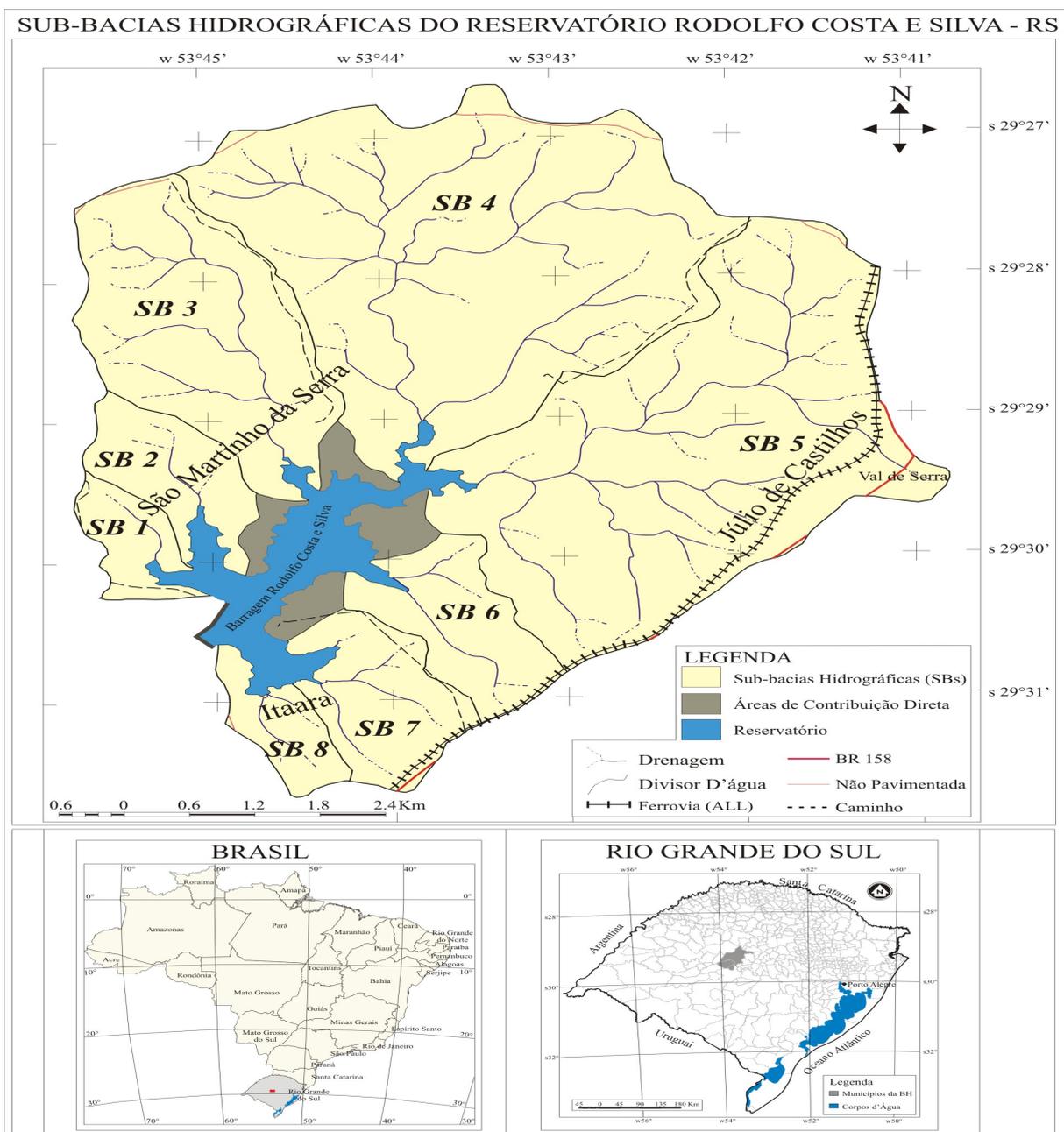


Figura 3.2 – Mapa da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.
Fonte: Adaptado de Wachholz (2005/2006).

A geomorfologia da região compreende uma área de transição entre o topo e o rebordo do planalto Meridional ou Arenito-basáltico (Serra Geral) e a planície ou depressão Periférica Sul-Riograndense. As nascentes do rio principal dessa bacia hidrográfica estão em uma altitude em torno de 500 metros, tendo como ponto mais alto de toda a bacia a cota altimétrica com 516 metros; e sua foz, onde passa a chamar-se apenas de Ibicuí, com altitude de 80 metros, local onde recebe o rio Toropi como afluente.

Essa bacia hidrográfica drena a área de municípios como São Martinho da Serra, onde tem seu alto curso; Itaara, Santa Maria, São Pedro do Sul e Júlio de Castilhos, médio curso; e Dilermando de Aguiar e São Pedro do Sul, no baixo curso. A geologia da área compreende rochas vulcânicas ácidas e básicas, arenito botucatu, sedimentos mesozóicos da bacia do Paraná e sedimentos recentes nas áreas aluviais.

O tipo climático é identificado como sendo subtropical úmido, com estações definidas, com média térmica anual de 19°C e ocorrência esporádica de geadas no inverno. O regime pluviométrico da região fica entre 1500 e 2000 mm/ano, com a presença de chuvas regulares do tipo frontal, ocorrendo pelo contato da massa de ar quente e úmida com a massa de ar fria e úmida. Apresenta possibilidades ocasionais de estiagens em qualquer período, sendo novembro o mês menos chuvoso; e os meses de junho, setembro e outubro, os mais chuvosos (SARTÓRI, 1993).

A vegetação predominante é do tipo campos, tendo também a presença de floresta, principalmente no rebordo do planalto Meridional, além das matas ciliares que ocorrem ao longo dos rios. Com a exploração econômica da área, a vegetação natural encontra-se muito modificada, com o cultivo de gramíneas para pastagens e a implantação de lavouras até mesmo nas áreas de encosta abrupta (MARCHIORI, 1997).

A população dessa área tem sua origem histórica, pois foi ocupada primeiramente por espanhóis, com a catequização indígena e a formação da Estância de São Miguel, que, mais tarde, migrou para as margens do rio Uruguai. Essa redução data de 1605 e localizava-se nas cabeceiras dessa sub-bacia, no atual município de São Martinho da Serra (VIEIRA e RANGEL, 1983). Essa área serviu também como posto de guarnição, por ser considerada uma área de fronteira, entre Portugal e Espanha, devido ao Tratado de Tordesilhas.

No baixo curso do rio Ibicuí-Mirim, já na depressão Periférica Sul-Riograndense, a ocupação humana tem por base a colonização portuguesa com a criação de gado e com o estabelecimento de estâncias.

Atualmente, as atividades econômicas, a montante do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, são do tipo agropastoril, agricultura consorciada com pecuária, com o predomínio de

cultivos anuais de soja, milho, trigo e pastagens, com a criação de gado de raças melhoradas em propriedades de médio e grande porte, no topo do planalto. No rebordo do planalto, a jusante do Reservatório, caracteriza-se a ocupação de pequenas áreas, denominadas colônias, que serviram para o assentamento de imigrantes e também como área de expansão da imigração italiana e alemã, com o desenvolvimento de policultura, direcionada ao consumo de subsistência dessas colônias e para o abastecimento de centros urbanos com o excedente. No baixo curso, o relevo predominante é o de planície, com a formação de solos aluviais, propícios ao cultivo da monocultura do arroz irrigado e da pecuária.

3.2 Material e técnicas

Com a finalidade de obter um resultado integrado dos ecossistemas terrestre e aquático, da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS, os dados coletados e medidos foram inseridos em uma única base de dados, o banco de dados geográficos, de acordo com o que segue:

3.2.1 Construção do Banco de Dados Geográficos

Utilizou-se a metodologia de geoprocessamento e SIG (CÂMARA e MEDEIROS, 1998; BURROUGH e McDONNEL, 1998; ROCHA, 2000), que consiste das seguintes etapas:

- coleta, entrada e verificação dos dados;
- armazenamento e gerenciamento dos dados;
- processamento das informações;
- visualização e apresentação dos resultados.

Seguindo essa metodologia, utilizou-se como aplicativo o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE - SP). Inicialmente, os dados e informações coletados dos ecossistemas terrestre e aquático foram digitalizados, georreferenciados e vetorizados de forma integrada no banco de dados geográficos, através do aplicativo SPRING. Esse banco de dados foi estruturado da seguinte forma: nomeação do banco de dados geográficos e entrada dos Planos de informações, constituídos por mapas temáticos, cartas topográficas ou MNT (curvas de nível e declividades), redes viária e de drenagem, tipos e uso do solo, sistema de

coordenadas (inserido no banco de dados geográficos através da aquisição de pontos de controle nas cartas topográficas), imagens de satélite e dados tabulares na forma não gráfica (variáveis limnológicas, etc).

Na construção do banco de dados geográficos, as imagens dos Satélites CBERS-2 CCD e LANDSAT-5 TM foram redimensionadas no Impima e georreferenciadas no aplicativo SPRING. Para a detecção das imagens, seria utilizado o espectro eletromagnético na faixa do infravermelho próximo (entre 700 a 1.300 nm); porém, por ser a água um alvo que possui baixo albedo, esse espectro apresentou ruídos e baixa reflectância; sendo assim, utilizou-se a combinação das bandas 2, 3 e 4 com os canais RGB, na composição colorida falsa-cor na faixa do visível (entre 400 a 700nm), tanto do Satélite CBERS-2 CCD quanto do LANDSAT-5 TM, devido a ambos os sensores apresentarem intervalos e resoluções espectrais semelhantes. As imagens desses dois sensores, registradas na terceira (11/12/2005) e décima (11/06/2006) coletas de campo, não foram utilizadas, porque apresentavam interferência atmosférica com cobertura de nuvens.

Registraram-se, no banco de dados geográficos, as cartas topográficas da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército, na escala 1:50.000, compreendendo as seguintes folhas: Camobi (SH22-V-C-IV-2), Rio Guassupi (SH22-V-C-I-3), Santa Maria (SH22-V-C-IV-1) e Val de Serra (SH22-V-C-I-4). Os dados da área de estudo representados nas cartas topográficas (curvas de nível, declividades, divisores de água e rede de drenagem), foram digitalizados e georreferenciados no aplicativo SPRING; e, posteriormente, vetorizados. Desse modo, determinaram-se as áreas das sub-bacias hidrográficas, o comprimento dos canais e as curvas de nível para o cálculo de padrões de drenagem.

A resolução temporal do CBERS-2 CCD é de 26 dias, e do LANDSAT-5 TM é de 16 dias. Sendo assim, observa-se, no Quadro 3.1, que se procurou realizar a coleta, medida e identificação dos temas e dados limnológicos, respectivamente dos ambientes terrestre e aquático do Reservatório, na data de passagem de um dos satélites sobre a área de estudo. Quando isso não foi possível, essas atividades foram feitas em data próxima à passagem. A coleta e a medida das variáveis limnológicas foram realizadas, preferencialmente, das 9 às 16 horas, quando as condições de iluminação solar são mais indicadas por apresentar menor variação.

Realizaram-se todas as coletas de campo com o apoio de uma equipe da UFSM, principalmente na operação de aparelhos de coletas e medidas das variáveis limnológicas do ambiente aquático do Reservatório. Contou-se também com a colaboração de um piloto da CORSAN - RS habilitado na operação de um barco a motor.

Coleta	Imagem dos Satélites CBERS-2 CCD e LANDSAT- 5 TM		Data da coleta de campo	Nº de pontos amostrais	Variáveis limnológicas
	Sensor	Data de passagem			
1ª	CCD	20/10/2005	20/10/2005	21	- Total de sólidos em suspensão (TSS) - Transparência - Condutividade elétrica - Temperatura - Total de sólidos dissolvidos (TDS) - Potencial Hidrogeniônico (pH)
2ª	TM	26/11/2005	18/11/2005		
3ª	CCD	11/12/2005	14/12/2005		
4ª	CCD	06/01/2006	06/01/2006		
5ª	CCD	01/02/2006	01/02/2006		
6ª	CCD	27/02/2006	27/02/2006		
7ª	TM	03/04/2006	25/03/2006		
8ª	CCD	20/04/2006	20/04/2006		
9ª	TM	05/05/2006	16/05/2006		
10ª	CCD	11/06/2006	14/06/2006		
11ª	CCD	07/07/2006	07/07/2006		
12ª	TM	25/08/2006	25/08/2006		
13ª	TM	26/09/2006	26/09/2006		

Quadro 3.1 - Cronograma dos trabalhos de campo e de laboratório e registro das imagens de satélite, do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

3.2.1.1 Ecossistema terrestre

a) Mapa temático de declividade

Para a elaboração do mapa temático de declividade, da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, as curvas de nível representadas nas cartas topográficas foram digitalizadas no modelo numérico do terreno (MNT), no aplicativo SPRING. Seguidamente, gerou-se a grade triangular e estabeleceram-se as classes de fatiamento, com os respectivos intervalos, que, segundo Brito (2001), são: 0 a 2%; 2 a 6%; 6 a 12% e >12%. Optou-se em utilizar esses intervalos por representar melhor a estrutura do relevo da área de estudo.

b) Mapa temático de uso da terra

Na elaboração do mapa temático de uso da terra da área de captação do Reservatório, utilizaram-se as imagens dos Satélites CBERS-2 CCD e LANDSAT-5 TM, através da combinação das bandas 2, 3 e 4 com os canais RGB (vermelho, verde e azul), na composição colorida falsa-cor, visto que essa combinação apresenta maior reflectância, ou seja, maior facilidade na identificação dos diferentes alvos naturais (tipos ou classes de uso da terra) da superfície terrestre. Desse modo, a banda 2 foi associada ao canal de cor azul e representa a água; a banda 3, ao canal de cor verde, representando a vegetação (floresta, campo e agricultura); e a banda 4, ao canal de cor vermelha, representando o solo em tons avermelhados.

Conforme se observa no Quadro 3.2, a seguir, essa combinação permitiu, através da classificação visual das imagens de satélites, a identificação de seis classes de uso da terra: floresta, campo, agricultura, solo exposto, vegetação não fotossinteticamente ativa (NPV) e água. Para isso, foi necessário, inicialmente, determinar as principais características (atributos descritivos), ou seja, chaves de interpretação visual dos alvos naturais (objetos e/ou elementos) da superfície terrestre.

Classes de uso da terra	Características	Tonalidade	Textura	Forma	Localização
Floresta	Florestas nativas e/ou plantadas e matas ciliares	Verde-escuro	Rugosa	Irregular	Faixa marginal dos rios, encostas de elevações e dispersa por toda área
Campo	Áreas com pastagens	Amarelo	Fina	Irregular	Disperso por toda área
Agricultura	Áreas destinadas ao cultivo agrícola e/ou em pousio	Castanho ou sépia	Suave a áspera	Irregular e/ou geométrica	Dispersa por toda área
Solo exposto	Principais tipos de solo	Avermelhado	Suave a áspera	Irregular e/ou geométrica	Disperso por toda área
NPV	Áreas com vegetação senescente	Verde-oliva	Lisa	Irregular	Dispersa por toda área
Água	Rios, lagos e/ou reservatórios	Azul	Lisa	Variada	Não considerada

Quadro 3.2 - Classes e chaves de interpretação visual dos tipos de uso da terra.

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

Realizou-se a classificação automática das imagens de satélites, verificando-se uma confusão entre as classes de uso da terra (campo e agricultura). Por isso, optou-se pela classificação visual das imagens com base nos padrões identificados nas imagens e verdade da superfície terrestre.

c) Mapa temático das áreas de preservação permanente (APP)

No aplicativo SPRING, os mapas temáticos de APP, são denominados mapas de distância (geocampos), e são elaborados em função da rede de drenagem e/ou da geomorfologia (CÂMARA e MEDEIROS, 1998).

No entanto, pelo fato de a geomorfologia da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva apresentar formas, na maioria, planas a fracamente onduladas, esse mapa foi elaborado apenas em função da rede de drenagem e de acordo com as resoluções estabelecidas pelo Código Florestal Brasileiro (1965) e pelo CONAMA (1985/2002), descritas no Capítulo 2 desta dissertação. Assim, o referido mapa foi elaborado com as seguintes características: 30 metros de distância, para as APP situadas na faixa marginal dos cursos d'água da área de captação do Reservatório, por apresentarem menos de 10 metros de largura; um raio de 50 metros de largura, para as APP situadas no entorno das nascentes; e 100 metros de distância, para as APP localizadas no entorno do Reservatório.

d) Mapa temático das áreas de conflitos ambientais

Para a elaboração do mapa temático das áreas de conflitos ambientais da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, utilizaram-se os dados das cartas topográficas anteriormente digitalizados, georreferenciados e vetorizados no banco de dados geográficos, através do aplicativo SPRING. Seguidamente, esses dados foram transformados da representação vetorial para a matricial (raster). Nessa etapa, realizou-se a sobreposição ou cruzamento dos mapas de uso da terra e das APP, obtendo-se automaticamente as áreas com intersecção das classes.

A análise do resultado desse mapeamento, à luz da legislação ambiental federal, permitiu determinar as áreas em que ocorrem conflitos ambientais na área de estudo.

e) Relação das sub-bacias hidrográficas da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva com os respectivos compartimentos aquáticos do Reservatório

As linhas divisórias de água (limites) das sub-bacias hidrográficas da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva originaram-se dos dados extraídos das cartas topográficas. Esses dados foram digitalizados no banco de dados geográficos, em representação vetorial, obtendo-se assim polígonos fechados que passaram a representar as sub-bacias hidrográficas da área de estudo e serviram de base para o mapeamento de declividade e de uso da terra.

Para a delimitação terra-água do Reservatório e definição quantitativa de seus compartimentos aquáticos, relacionando-os às sub-bacias da área de captação, utilizaram-se procedimentos técnicos análogos, porém, os dados foram extraídos de imagens dos Satélites CBERS-2 CCD e LANDSAT-5 TM, ao invés das cartas topográficas. Nesse caso, os índices pluviométricos e o abastecimento urbano foram os principais responsáveis pela variação temporal da superfície aquática do Reservatório Rodolfo Costa e Silva. Por esse motivo, foi necessário realizar a delimitação temporal em cada imagem de satélite e a identificação dos pixels puros de água, como também eliminar a mistura presente nos pixels de borda, que apresentaram variações com o nível da lâmina de água do Reservatório.

3.2.1.2 Ecossistema aquático

3.2.1.2.1 Ciclos agrícolas

Na área de captação das sub-bacias hidrográficas do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, ocorre rotação de cultivo durante o ano hidrológico, sendo estruturada em quatro ciclos: ciclo de solo exposto (preparo do solo para plantio), período entre setembro a novembro, no qual geralmente é carregado elevado aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos para o Reservatório, por influência de índices pluviométricos (escoamento superficial) e raramente pela ação do vento; ciclo de cultivo da soja, período entre dezembro a abril, dividindo-se em três fases (plantio, crescimento vegetativo e colheita); ciclo de entressafra, ocorrendo no mês de maio, sem a remoção do solo; e ciclo de cultivo do trigo, período entre junho a agosto, dividindo-se em três fases (plantio, crescimento vegetativo e colheita). Esses ciclos agrícolas

interferem nas variáveis limnológicas do Reservatório, principalmente no ciclo de solo exposto, devido às características presentes nessa fase.

3.2.1.2.2 Condições atmosféricas

As condições atmosféricas utilizadas como técnica nos trabalhos de coletas de campo foram: a variação dos índices pluviométricos durante o ano hidrológico, acumulados a 26 e 7 dias anteriores à realização das coletas de campo, e a velocidade média diária do vento dos 26 dias antes de cada coleta de campo, a 10 metros da superfície. Esses dados foram medidos e registrados quando das coletas de campo, durante o ano hidrológico, pela plataforma de coleta de dados (PCD), junto ao Observatório Espacial do Sul (OES/INPE - RS), localizado em São Martinho da Serra - RS, aproximadamente a 10 Km de distância do Reservatório Rodolfo Costa e Silva.

3.2.1.2.3 Medida e análise das variáveis limnológicas

Com o objetivo de avaliar espaço-temporalmente, em um ano hidrológico, características limnológicas do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, registraram-se, no banco de dados geográficos, dados coletados de variáveis limnológicas, integrando-os com dados extraídos das cartas topográficas e de imagens dos Satélites CBERS-2 CCD e LANDSAT-5 TM.

Através do aplicativo SPRING e com o auxílio do aparelho sistema de posicionamento global (GPS), com cinco metros de precisão, elaborou-se o mapa dos compartimentos aquáticos do Reservatório, georreferenciando 21 (vinte e um) pontos amostrais (Figura 3.3 a seguir).

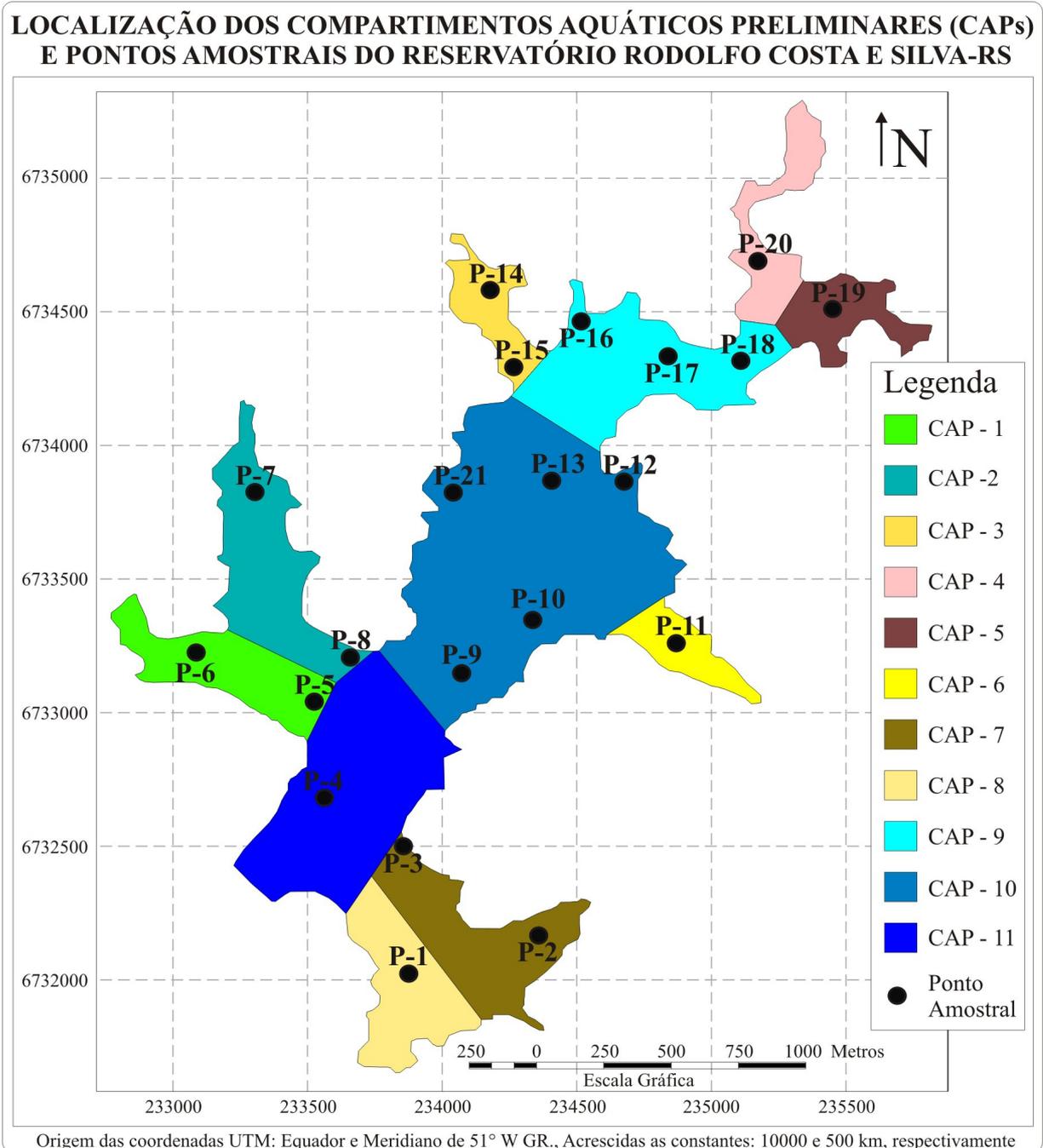


Figura 3.3 - Mapa dos compartimentos aquáticos do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.
Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

As variáveis limnológicas determinadas "in loco" foram:

a) Total de sólidos em suspensão/TSS (mg/L): essa variável foi obtida através da coleta em frascos plásticos de 600ml de água, nos pontos amostrais, para medida, identificação e análise, nos laboratórios de Sedimentologia e de Espectrometria Atômica, respectivamente, dos Departamentos de Geociências e de Química do CCNE/UFSM.

Para a medida e a identificação do TSS, utilizaram-se dois tipos de filtros: filtro microfibras de vidro borossilicato sem resina, permitindo a realização do processo de filtração e calcinação; e filtro de celulose, constituído por membranas HA, branca e quadriculada, em éster de celulose com poros de $0,45\mu\text{m}$, diâmetro de 47 milímetros, possibilitando fazer a filtração da água (MILLIPORE, 2006). Secaram-se e pesaram-se os respectivos filtros antes e depois da filtração, sendo que a diferença de peso corresponde ao TSS.

A pesagem dos filtros e a filtração da água foram realizadas em dois momentos distintos. Num primeiro momento, os filtros permaneceram por um período de 24 horas em estufa, a uma temperatura média de 50°C , para a perda da umidade (secagem); sendo, então, pesados na balança analítica de marca Mettler Toledo, modelo AG 245 (acurácia 0,00001 gramas), registrando seu valor. Num segundo momento, ocorreu o processo de filtração da água, seguido pelos mesmos procedimentos de secagem e pesagem descritos acima. Para todas as coletas de campo realizadas, aplicaram-se esses procedimentos técnicos. A Figura 3.4 a seguir mostra a seqüência do procedimento para obtenção do TSS, desde a coleta de amostras no Reservatório até o produto final.

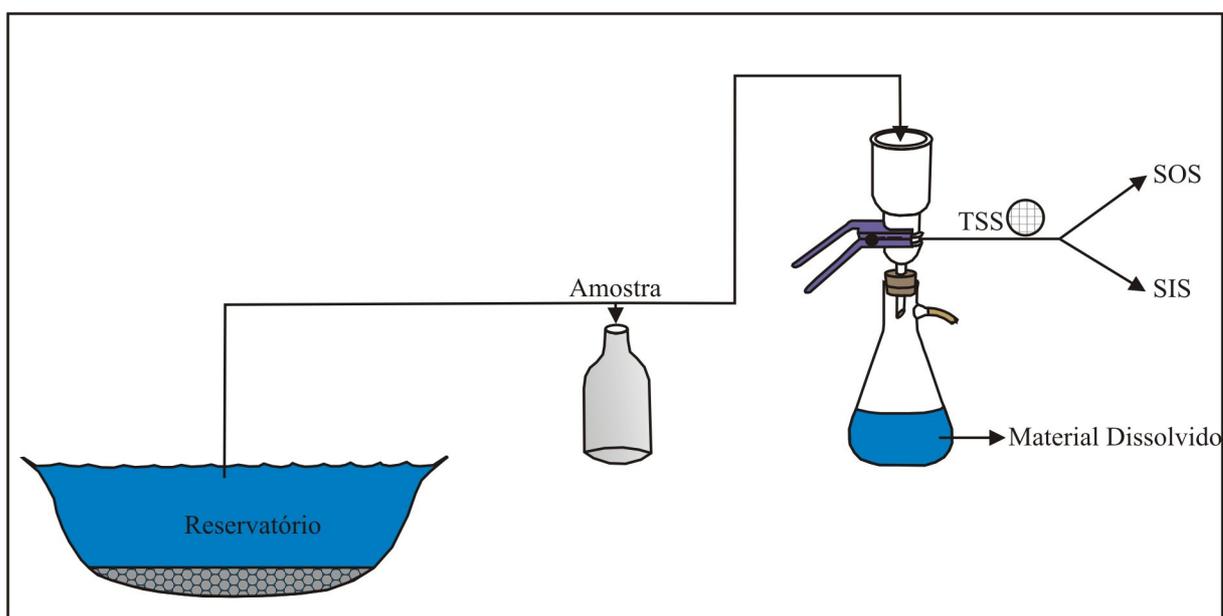


Figura 3.4 - Processo de medida e identificação do TSS do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.

Fonte: Adaptado de Esteves (1998).

b) Transparência da água/profundidade do disco de Secchi (cm): obteve-se essa variável, mergulhando, nos pontos amostrais, um disco de metal branco de 25 centímetros de diâmetro, ao qual foi acoplada uma corda marcada. Anotou-se o valor em que ocorreu o desaparecimento do disco na água.

c) Temperatura da água (°C): a temperatura da água foi obtida, nos pontos amostrais, através do aparelho ORION, medida a 20 centímetros de profundidade da água.

Nas coletas de campo, as medidas da temperatura da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS, foram realizadas em subsuperfície, a 20 centímetros de profundidade, onde as temperaturas tendem a ser uniformes devido às ações do ambiente externo (Tucci, 1993).

d) Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$): os dados dessa variável, nos pontos amostrais, também foram identificados com o aparelho ORION, sendo medida a 20 centímetros de profundidade da água.

e) Total de sólidos dissolvidos/TDS (mg/L): os dados dessa variável também foram identificados com o emprego do aparelho ORION, a 20 centímetros de profundidade da água, nos pontos amostrais.

f) Potencial Hidrogeniônico (pH): mediu-se essa variável, nos pontos amostrais, a 20 centímetros de profundidade da água, através do aparelho PH MASTER que, primeiramente, foi estabilizado com solução de pH4 e pH7.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com o objetivo de realizar uma análise integrada dos ecossistemas terrestre e aquático, promovendo a interdependência entre ambos, e de obter subsídios que facilitassem a medida, a identificação e a análise de características limnológicas do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS, com a tecnologia de geoprocessamento e SIG, criou-se um banco de dados geográficos, no qual foram inseridos os Planos de informações com dados de variáveis limnológicas advindos dos pontos amostrais das coletas de campo, da cartografia e de imagens de satélite, georreferenciados através do aplicativo SPRING.

Para isso, foi produzido o mapeamento das sub-bacias hidrográficas da área de captação do Reservatório, elaborando-se os mapas temáticos de declividade e de uso da terra, de áreas de preservação permanente (APP) e de áreas de conflitos ambientais; relacionaram-se as sub-bacias da área de captação aos compartimentos aquáticos do Reservatório; realizaram-se a coleta, medida, identificação e análise das variáveis limnológicas do Reservatório; e, por fim, foram analisados os ecossistemas terrestre e aquático de forma integrada.

4.1 Mapa temático de declividade

Para elaborar o mapa temático de declividade (Figura 4.1), verificou-se que a área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva localiza-se no compartimento geomorfológico que compreende uma área de transição entre o topo e o rebordo do planalto Meridional ou Arenito-basáltico (Serra Geral) e a planície ou depressão Periférica Sul-Riograndense. As nascentes do rio principal dessa bacia hidrográfica estão em uma altitude em torno de 500 metros, tendo como ponto mais alto de toda a bacia a cota altimétrica com 516 metros; e sua foz, onde passa a chamar-se apenas de Ibicuí, com altitude de 80 metros.

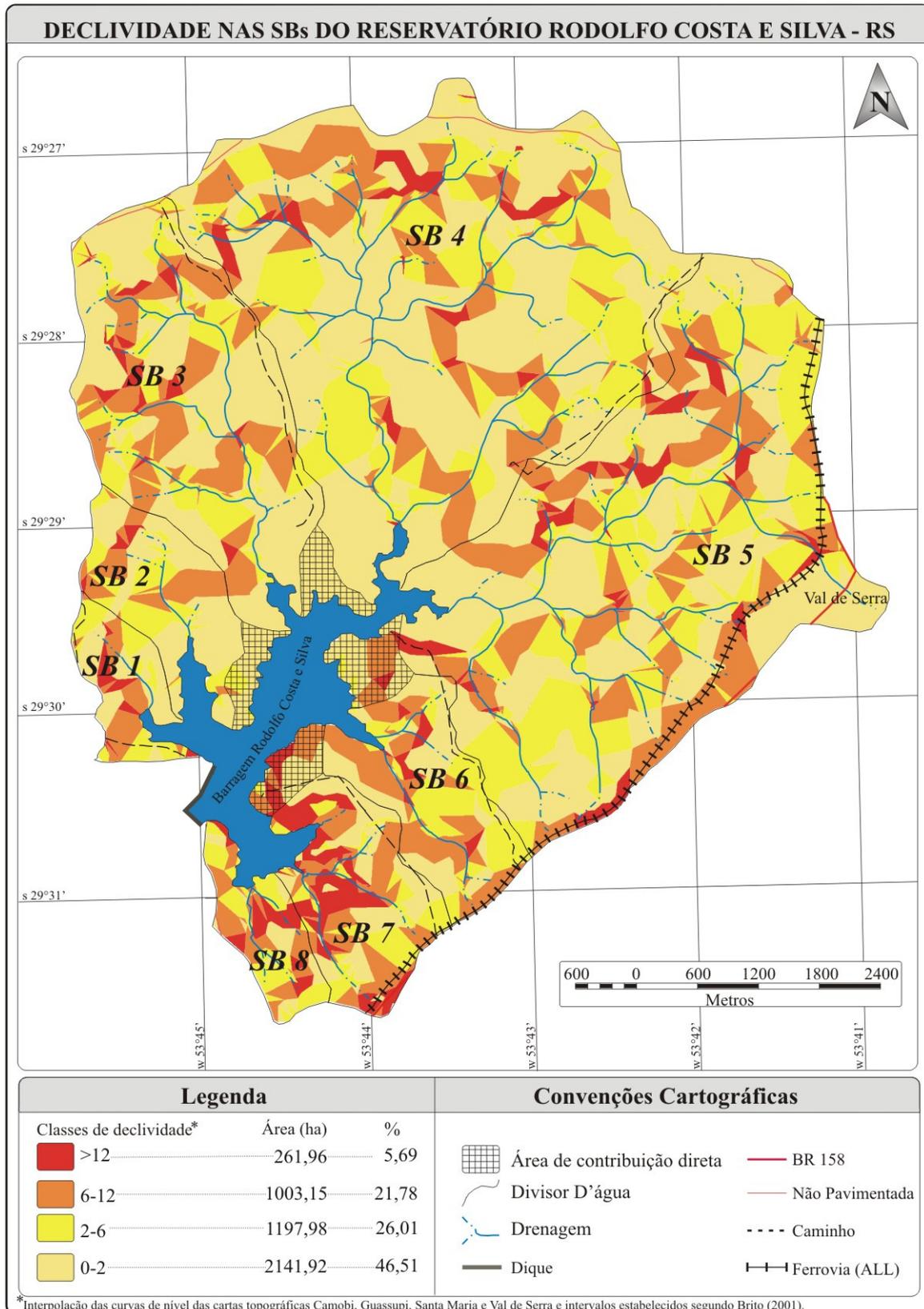


Figura 4.1 - Mapa de declividade da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.

Fonte: Sartor e Wachholz (2005/2006).

De acordo com o conjunto de áreas geomorfologicamente homogêneas, a área de captação apresenta as formas: plana (p) e convexa (c). Por meio da aplicação dos níveis taxonômicos e dos padrões de dissecação do relevo, foi possível identificar quatro classes de declividade, na área de captação do Reservatório (Figura 4.1 e Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Classes de declividade da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS

Classes de declividade (%)	Área (ha)	Percentual (%)	Forma de dissecação do relevo
0-2	2141,92	46,51	Plana
2-6	1197,98	26,01	Fraca ondulada
6-12	1003,15	21,78	Média ondulada
>12	261,96	5,69	Ondulada

Fonte: Adaptado de Brito (2001).

Observa-se, na Figura 4.1, que as formas de relevo mais dissecadas, de um modo geral, constituem-se de feições geomorfológicas onduladas, encontrando-se no entorno próximas às nascentes. Também é possível verificar que um elevado percentual dessas formas acompanha a faixa marginal das drenagens. Assim, essas áreas, por apresentarem maior propensão a problemas ambientais, como erosão do solo e assoreamento dos rios, lagos e demais mananciais, representam as APP, de acordo com resolução estabelecida pelo Código Florestal Brasileiro (1965).

Desse modo, visualiza-se, na Figura 4.1, que as sub-bacias hidrográficas 7 e 8 (porção Leste do Reservatório) apresentam menor área em relação às outras sub-bacias e maior percentual de formas de relevo mais dissecadas; portanto, pode-se inferir que são menos indicadas quanto aos tipos de uso da terra (por exemplo, à classe agricultura), sendo, no entanto, mais favoráveis ao desenvolvimento de atividades de campo, pecuária e silvicultura.

Observa-se ainda, na Figura 4.1 e na Tabela 4.1, que a maioria da área de captação das sub-bacias do Reservatório Rodolfo Costa e Silva (aproximadamente 94%) apresenta formas do relevo pouco dissecadas, variando em formas plana (46,51%), fraca ondulada (26,01%) e média ondulada (21,78%); sendo assim, pode ser considerada uma área restrita a problemas ambientais, como erosão do solo e assoreamento dos canais e do Reservatório. A partir disso, é possível inferir que a área de captação das sub-bacias do Reservatório, por apresentar esse modelado geomorfológico, de um modo geral, é fortemente favorável ao uso da terra, inclusive à produção agrícola.

4.2 Mapa temático de uso da terra

Analisando-se, na Figura 4.2, a distribuição espacial das classes de uso da terra, por ciclo agrícola, durante o ano hidrológico do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, e, na Tabela 4.2, a quantificação dos dados, percebe-se que a classe denominada floresta possui 460,62 hectares de área, correspondente a 9,44% do total da área de captação do Reservatório. Infere-se que essa classe apresenta a mesma área distribuída pelos quatro ciclos agrícolas, principalmente devido ao fato de a maior porção se referir às APP. Desse modo, visualiza-se que, por esse motivo, a vegetação localiza-se na maioria na faixa marginal dos rios das sub-bacias da área de captação e, em menor proporção, no entorno do Reservatório, nas encostas de elevações e dispersa por toda a área. Identifica-se também que a classe floresta é representada, em maior quantidade, por mata ciliar ou galeria e, em menor proporção, por floresta nativa e/ou reflorestada.

Tabela 4.2 - Classes de uso da terra e ciclos agrícolas da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS

Classes de uso da terra	Ciclos agrícolas							
	Solo exposto		Ciclo da soja		Entressafra		Ciclo do trigo	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Floresta	460,62	9,44	460,62	9,44	460,62	9,44	460,62	9,44
Campo	884,40	18,12	1302,83	26,70	1622,81	33,25	1579,64	32,37
Agricultura	835,66	17,12	2128,45	43,62	1358,76	27,84	2087,49	42,78
Solo exposto	1888,85	38,71	667,24	13,67	1110,97	22,77	524,42	10,75
NPV	481,63	9,87	0,00	0,00	39,59	0,81	0,00	0,00
Água	328,85	6,74	320,86	6,57	287,25	5,89	227,82	4,67

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

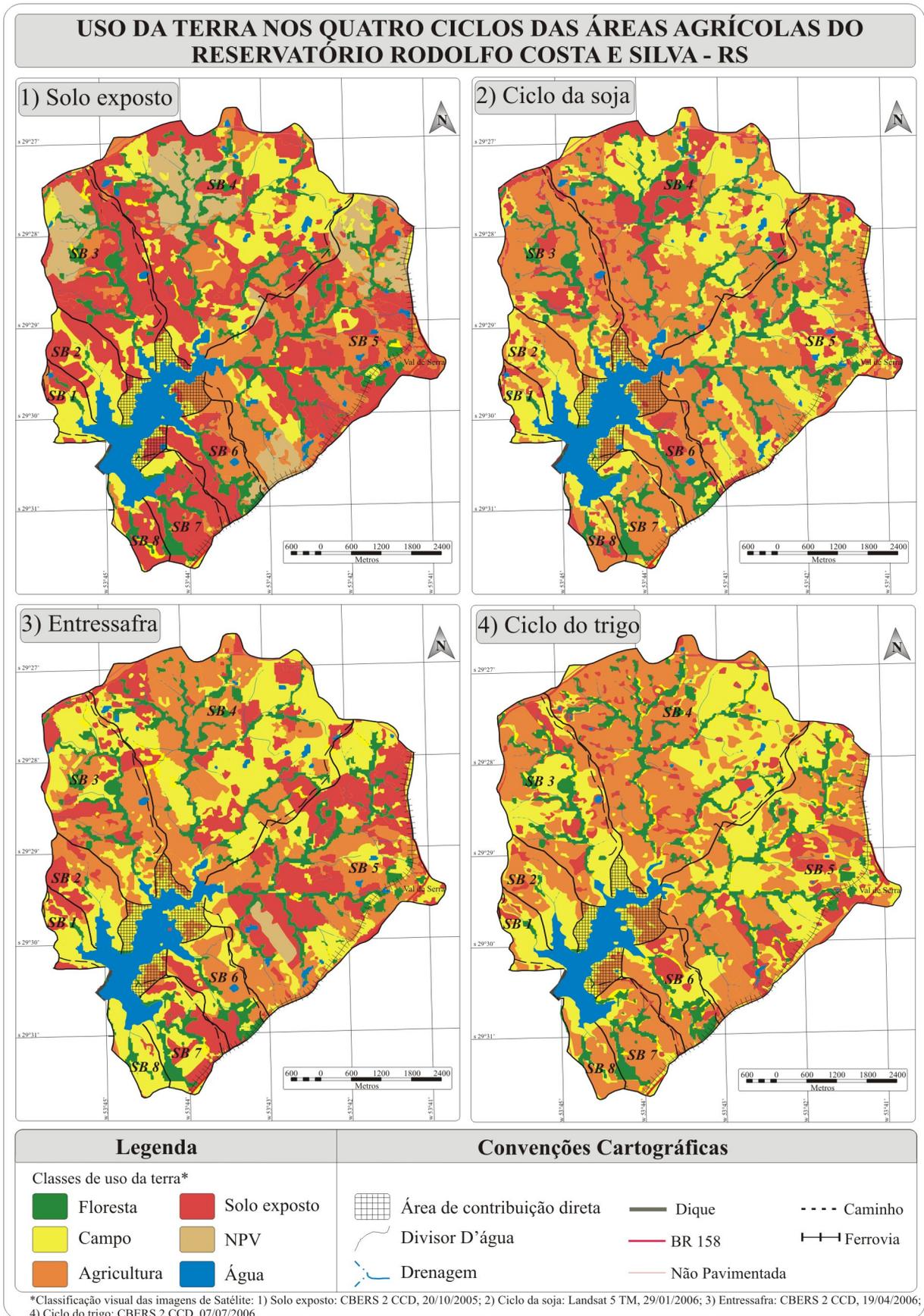


Figura 4.2 - Mapa de uso da terra da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.

Fonte: Sartor e Wachholz (2005/2006).

Verifica-se, na Figura 4.2 e na Tabela 4.2, que a classe campo apresenta os seguintes valores de área por ciclo agrícola, durante o ano hidrológico, da área de captação das sub-bacias hidrográficas do Reservatório Rodolfo Costa e Silva: para solo exposto, 884,40 hectares de área, que corresponde a 18,12% do total da área de captação; para o ciclo da soja, 1.302,83 hectares, ou seja, 26,70% do total da área de captação; para a entressafra, apresenta 1.622,81 hectares de área, isto é, 33,25% do total da área de captação; e para o ciclo do trigo, 1.579,64 hectares, ou seja, 32,37% do total da área de captação do Reservatório.

Dessa maneira, observa-se, na Tabela 4.2, que, embora se localize dispersa por toda a área de captação, a classe campo apresenta menor valor de área para o ciclo agrícola de solo exposto (aproximadamente a metade dos outros três ciclos). Acredita-se que essa classe tenha apresentado esse resultado, uma vez que manteve, nesse ciclo, apenas a classe de campo natural, sendo que, nos ciclos da soja, da entressafra e do trigo, passou a cultivar também pastagens para a atividade da pecuária, principalmente nos ciclos agrícolas da entressafra (mês de maio) e do trigo (entre junho a agosto), os quais ocorrem nos períodos de outono e inverno, quando há a necessidade de produzir maior quantidade de alimento para a atividade criatória. A classe campo representa uma importante base para a economia dos municípios integrantes das sub-bacias hidrográficas da área de captação do Reservatório, visto que a pecuária destaca-se na produção de bovinos, aves e suínos para o consumo da região, comercializando o excedente.

Analisando-se a Figura 4.2 e a Tabela 4.2, observa-se que a classe agricultura apresenta os seguintes valores de área por ciclo agrícola, durante o ano hidrológico, da área de captação das sub-bacias hidrográficas do Reservatório Rodolfo Costa e Silva: para solo exposto, 835,66 hectares de área, que corresponde a 17,12% do total da área de captação; para o ciclo da soja, 2.128,45 hectares, isto é, 43,62% do total da área de captação; para a entressafra, 1.358,76 hectares de área, ou seja, 27,84% do total da área de captação; e para o ciclo do trigo, 2.087,49 hectares, isto é, 42,78% do total da área de captação da área de estudo. Desse modo, examinando a Tabela 4.2, observa-se que, embora se localize dispersa por toda a área de captação, a classe agricultura apresenta menor valor de área para o ciclo agrícola de solo exposto (aproximadamente a metade da entressafra), em relação aos ciclos da soja e do trigo (aproximadamente um terço). Portanto, infere-se que a classe agricultura apresentou esse resultado, pelo principal motivo de, nos ciclos agrícolas de solo exposto e da entressafra, serem cultivados apenas produtos de subsistência (milho, feijão, arroz, batata, hortaliças e outros). Entretanto, nos ciclos da soja e do trigo, como se verificou anteriormente, foram cultivados praticamente a metade e dois terços a mais, respectivamente, em relação aos

ciclos da entressafra e de solo exposto, pois esses dois produtos agrícolas são comerciais, havendo, assim, a necessidade de grande produção.

Observando-se a Figura 4.2 e a Tabela 4.2, sobre a classe solo exposto da área de captação das sub-bacias hidrográficas do Reservatório, percebe-se que, em seu próprio ciclo, apresenta a maior área, cerca de 1.888,85 hectares (38,71%) do total da área de captação. Provavelmente, porque nesse ciclo ocorre o preparo do solo para plantio da soja e do trigo, voltado para a agricultura comercial e, por isso, mecanizada. Ainda, pode-se verificar que essa classe representa para os ciclos agrícolas da soja, 667,24 hectares (13,67%), e do trigo, 524,42 hectares (10,75%) de solo exposto. Ambos os ciclos apresentam áreas com tamanhos aproximados e pequenas em relação ao total da área das sub-bacias de captação do Reservatório, provavelmente, porque são áreas preparadas para pastagens e cultivo de subsistência. A entressafra apresenta área de 1.110,97 hectares (22,77%) da classe solo exposto, possivelmente resultado da relação estabelecida por essa classe entre os ciclos da soja e do trigo. Essa classe se apresenta dispersa por toda a área, sendo mais expressiva, como visto anteriormente, no próprio ciclo agrícola solo exposto.

Analisando-se a Figura 4.2 e a Tabela 4.2, observa-se que a ocorrência da classe vegetação não fotossinteticamente ativa (NPV) na área de captação das sub-bacias hidrográficas do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, durante o ano hidrológico, ocorre apenas em dois ciclos agrícolas: no ciclo agrícola solo exposto, representando 481,63 hectares (9,87%), nas sub-bacias 3, 4, 5 e 6; e, na entressafra, representando uma pequena área na sub-bacia 5, de 39,59 hectares (0,81%). Ambos os ciclos referem-se ao total da área de captação do Reservatório. No entanto, identifica-se que os outros dois ciclos agrícolas, os ciclos da soja e do trigo, não apresentam áreas com a classe NPV. A partir desse resultado, acredita-se que o mais coerente é que essa vegetação encontra-se em estado senil em relação às demais, porque os próprios ciclos agrícolas de ocorrência se justificam (solo exposto e entressafra), principalmente no ciclo solo exposto, que representa quase o total da área constituída por essa classe de uso da terra.

A respeito da análise da água superficial presente na área de captação das sub-bacias hidrográficas do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, observa-se na Figura 4.2 e na Tabela 4.2, os seguintes resultados para os ciclos agrícolas: solo exposto representa 328,85 hectares (6,74%); ciclo da soja, 320,86 hectares (6,57%); entressafra, 287,25 hectares (5,89%); e o ciclo do trigo representa 227,82 hectares (4,67%). Esses ciclos referem-se ao total da área de captação do Reservatório. Dessa forma, infere-se que os resultados apresentados conferem coerência, visto que está bem representada a relação quantitativa da classe água superficial,

por ciclo agrícola, com os períodos de ocorrência média de maiores e/ou menores índices pluviométricos (Figura 4.8), contrastando, assim, com a variação do nível da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, durante o ano hidrológico, monitorado através de medida e registro desses níveis nas coletas de campo, obtidos através de uma régua vertical localizada no dique do Reservatório (Figura 4.3 a seguir).

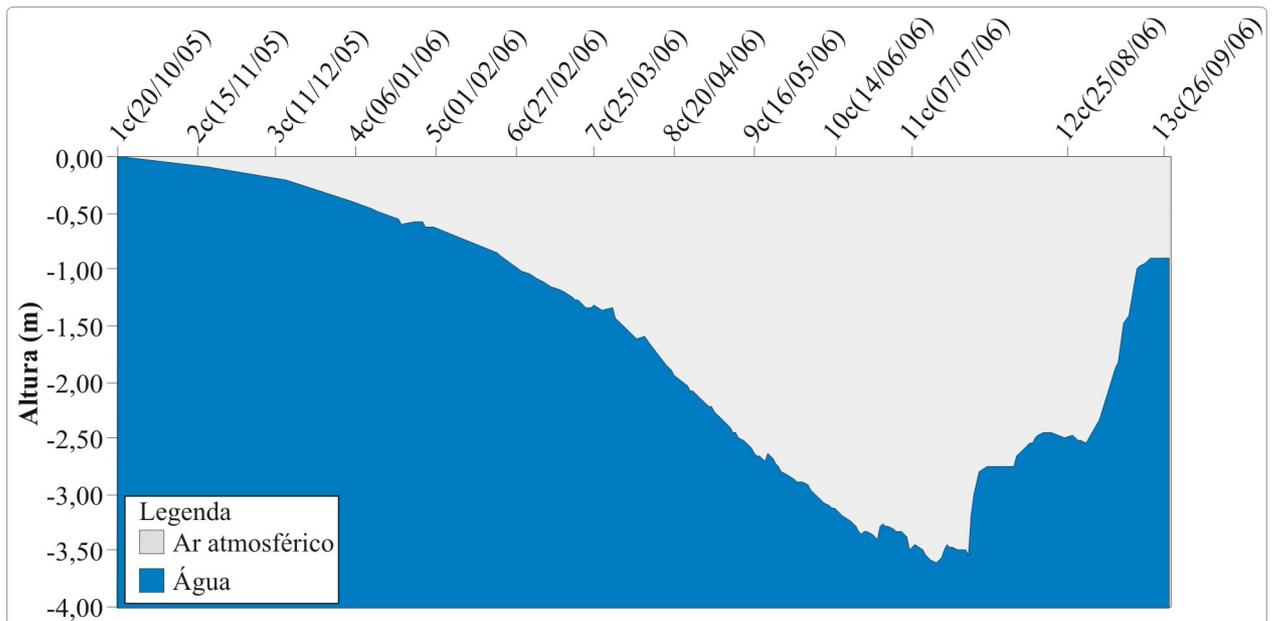


Figura 4.3 - Variação do nível da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS, durante o ano hidrológico.

Fonte: SURCEN/CORSAN - RS (2005/2006).

4.3 Mapa temático das áreas de preservação permanente (APP)

As áreas de preservação permanente (APP) são identificadas pela localização das florestas e demais formas de vegetação natural, em função da rede de drenagem e da geomorfologia. Nesse caso, o mapa temático das APP da área de captação das sub-bacias do Reservatório Rodolfo Costa e Silva foi elaborado com base apenas na rede de drenagem, pelo fato de suas feições geomorfológicas apresentarem-se com baixa declividade, não influenciando na definição das APP da área de captação do Reservatório (Figura 4.4).

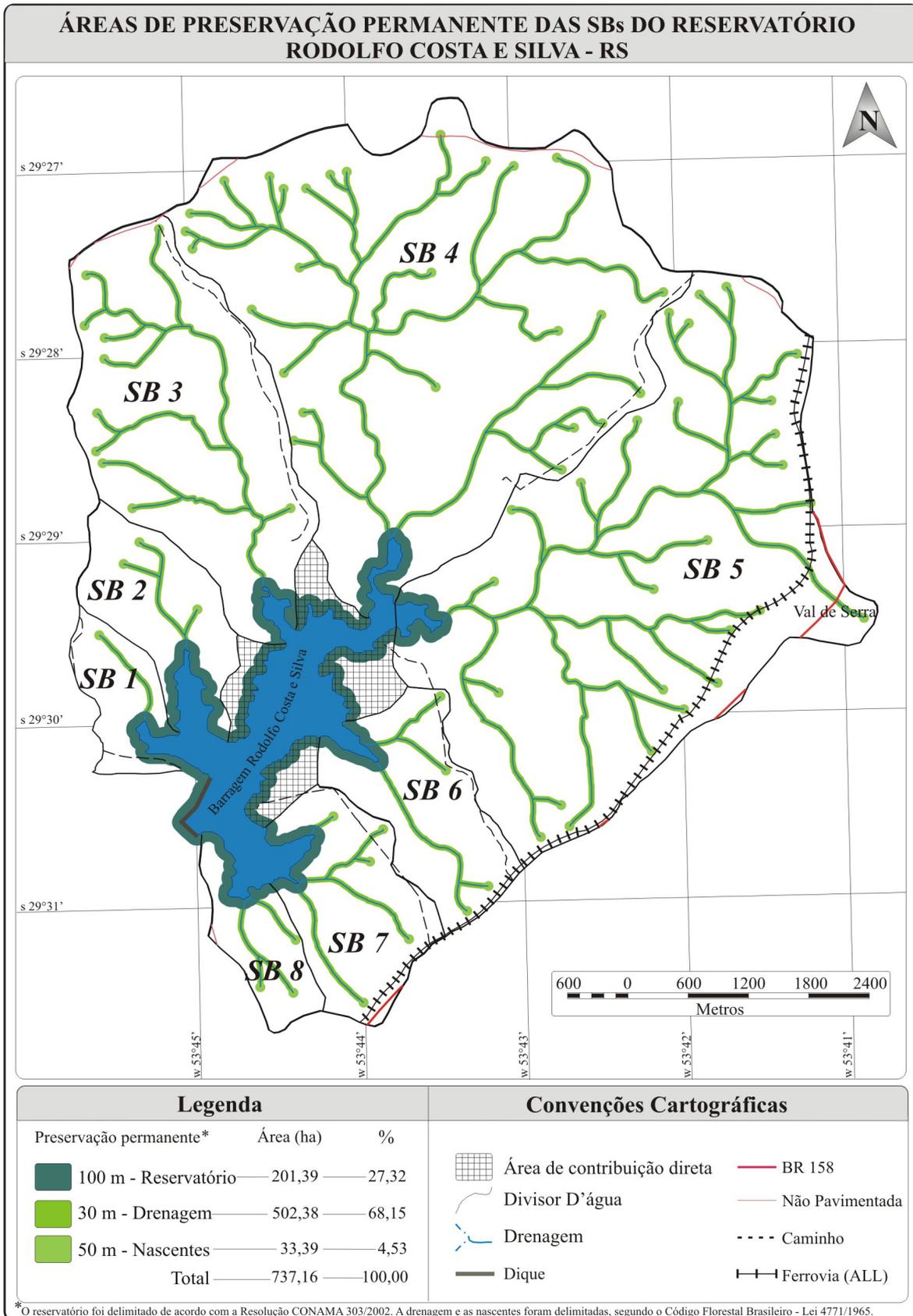


Figura 4.4 - Mapa das APP da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.
Fonte: Sartor e Wachholz (2005/2006).

Assim, em consonância com resoluções estabelecidas pelo Código Florestal Brasileiro (1965) e pelo CONAMA (1985/2002), para elaboração do mapa temático de APP das sub-bacias da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, foi estabelecido como limite das APP: para a faixa marginal ao longo das drenagens, pelo fato das drenagens apresentarem até 10 metros de largura, manteve-se 30 metros de APP; para o entorno do Reservatório, 100 metros de APP; e, para o entorno das nascentes, ainda que intermitentes, manteve-se um raio de 50 metros de largura de APP.

Observa-se, na Figura 4.4, que a área de captação das sub-bacias do Reservatório, representa as APP na seguinte condição: para à distância dos 100 metros de APP da área total do entorno do Reservatório, 201,39 hectares (27,32%) da APP; para à distância de 30 metros de APP da faixa marginal da área total das drenagens da área de captação, 502,38 hectares (68,15%) da APP; e, num raio de 50 metros de largura de APP da área total das nascentes da área de captação do Reservatório, 33,39 hectares (4,53%) da APP. Desse modo, verifica-se que, de acordo com a legislação ambiental federal, a área total que representa as APP das sub-bacias da área de captação do Reservatório é de 737,16 hectares.

4.4 Mapa temático das áreas de conflitos ambientais

As áreas de conflitos ambientais (Figura 4.5) são definidas com base no uso da terra e nas resoluções estabelecidas pelo Código Florestal Brasileiro (1965) e pelo CONAMA (1985/2002). Assim, são APP que foram invadidas e sua vegetação natural, inicialmente, foi desmatada e substituída pelas classes de uso da terra, principalmente por campo e agricultura. Desse modo, as APP ocupadas com atividades agropastoris, principalmente agrícolas, representam sérios conflitos ambientais, determinados por dois fatores principais: o primeiro, devido à ação pastoril, essas áreas apresentam baixa capacidade de infiltração no escoamento de água superficial; o segundo, porque, no ciclo de solo exposto, o aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos escoado para um rio, lago de captação e outros mananciais de água é elevado, pois a faixa marginal das drenagens e entorno de reservatórios e lagos de captação de água sofrem forte influência da erosão e da perda de fertilidade do solo, assoreando facilmente os cursos dos rios e outros mananciais de água (TUCCI, 1993; ROCHA, 1999; TUNDISI et al., 1999).

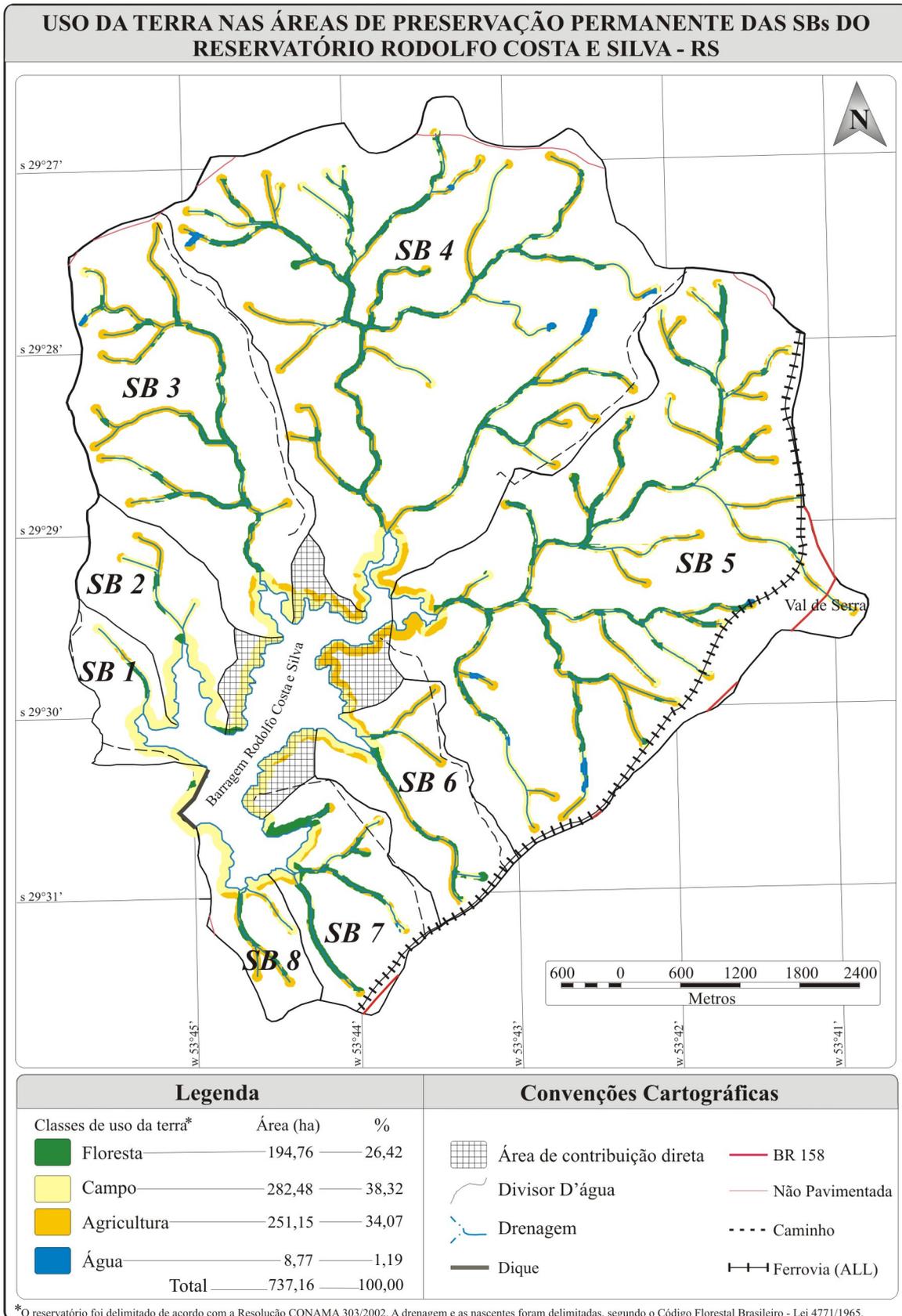


Figura 4.5 - Mapa das áreas de conflitos ambientais da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.

Fonte: Sartor e Wachholz (2005/2006).

Observa-se, nas Figuras 4.5 e 4.6, que, de acordo com o uso da terra e com as resoluções estabelecidas pela legislação ambiental federal, a área de captação das sub-bacias hidrográficas do Reservatório Rodolfo Costa e Silva apresenta apenas 26,42% (194,76 hectares) de APP com florestas e demais formas de vegetação natural, isto é, 72,39% (533,63 hectares) dessa área apresenta-se com conflitos ambientais em relação ao uso da terra pela ação antrópica, sendo que 38,32% (282,48 hectares) de área apresenta-se com atividade de campo (pecuária) e 34,07% (251,15 hectares) de área com agricultura. Assim, visualiza-se que os conflitos ambientais ocorrem tanto na faixa marginal das drenagens da área de captação das sub-bacias do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, como também nas áreas que envolvem o entorno das nascentes e do próprio Reservatório.

A Figura 4.6 a seguir representa a área de captação de contribuição direta voltada para os pontos amostrais 17 e 18 (Figura 3.3) do Reservatório, onde percebe-se que é marcante a ocorrência de conflitos ambientais. Inicialmente, as florestas e demais formas de vegetação natural foram desmatadas para a realização de atividades agropecuárias, assim observa-se que, de acordo com legislação ambiental federal, não está sendo respeitado o limite mínimo de 100 metros de distância de APP no entorno do Reservatório.



Figura 4.6 - Área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS, com conflitos ambientais da 5ª coleta de campo (01/02/2006).

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

4.5 Medida e análise das variáveis limnológicas

As variáveis limnológicas do Reservatório Rodolfo Costa e Silva coletadas, medidas, identificadas e analisadas foram: total de sólidos em suspensão (TSS), transparência da água,

temperatura da água, condutividade elétrica, total de sólidos dissolvidos (TDS) e potencial Hidrogeniônico (pH).

Sendo a resolução temporal do CBERS-2 CCD 26 dias, e do LANDSAT-5 TM 16 dias, planejou-se realizar a coleta, medida e identificação dessas variáveis do Reservatório na data de passagem de um dos satélites sobre a área de estudo. Quando isso não foi possível, essas atividades foram realizadas em data próxima à passagem (Quadro 3.1).

A Figura 4.7 a seguir representa a variação da profundidade, medida e identificada nos pontos amostrais da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, durante o ano hidrológico, da quarta coleta de campo (06/01/2006), que influenciou os resultados apresentados na relação do uso da terra da área de captação com as variáveis limnológicas coletadas e medidas no Reservatório.

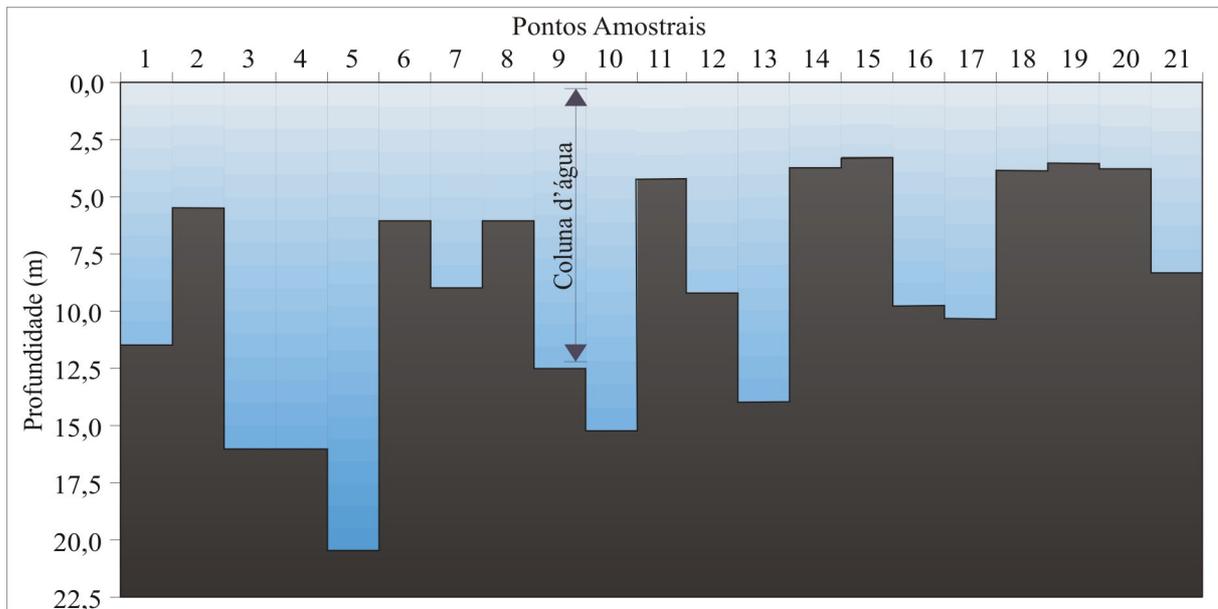


Figura 4.7 - Variação da profundidade nos pontos amostrais do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

A Figura 4.8 a seguir representa a variação de índices pluviométricos correspondente a 26 e 7 dias anteriores à realização das coletas de campo no Reservatório, durante o ano hidrológico, os quais em relação o uso da terra influenciaram no resultado apresentado pelas variáveis limnológicas em maior ou menor aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos carregado para dentro do Reservatório.

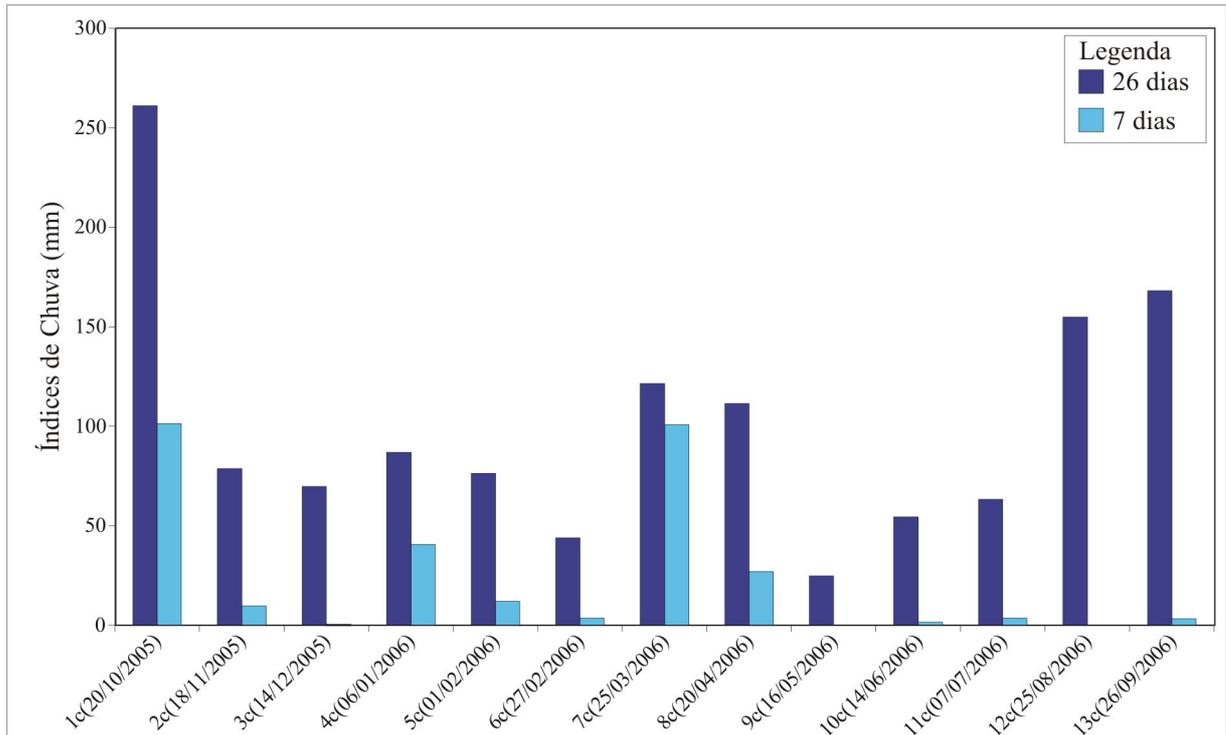


Figura 4.8 - Variação de índices pluviométricos correspondente a 26 e 7 dias anteriores à realização das coletas de campo do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.

Fonte: PCD - OES/INPE - RS (2005/2006).

Tabela 4.3 - Estatística descritiva dos dados de vento a 10 metros da superfície (m/s), do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS

Coleta	Mínimo	Máximo	Média	Variância
1c(20/10/2005)	4,15	9,79	6,76	2,25
2c(18/11/2005)	4,29	9,23	6,73	2,02
3c(14/12/2005)	4,64	9,39	6,84	1,57
4c(06/01/2006)	4,98	10,31	7,34	1,76
5c(01/02/2006)	4,53	9,53	7,14	2,13
6c(27/02/2006)	5,44	9,41	7,39	1,18
7c(25/03/2006)	4,90	9,40	7,47	1,32
8c(20/04/2006)	3,28	8,99	6,90	1,82
9c(16/05/2006)	4,10	9,84	6,93	1,82
10c(14/06/2006)	3,34	9,66	6,89	2,14
11c(07/07/2006)	3,81	10,24	7,12	3,16
12c(25/08/2006)	3,11	9,43	6,44	2,46
13c(26/09/2006)	4,44	8,76	6,59	1,51

*Os dados de vento correspondem à média diária dos 26 dias antes de cada coleta ou ao intervalo de uma data antecedente até a outra.

Fonte: PCD - OES/INPE - RS (2005/2006).

4.5.1 Total de sólidos em suspensão (TSS)

O TSS é uma variável limnológica que está intrinsecamente relacionada ao ecossistema terrestre (principalmente com os tipos de uso da terra, como atividades

agropecuárias na área rural) e às condições atmosféricas, pois o aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos carregado para o ambiente aquático é facilitado pela geomorfologia, pelo desmatamento, pelo solo exposto, pelo índice pluviométrico e pelo vento.

Observa-se, nas Figuras 4.9 e 4.10 e na Tabela 4.4, que os maiores valores de TSS da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva foram encontrados na primeira (20/10/2005), segunda (18/11/2005), quarta (06/01/2006), sétima (25/03/2006) e décima terceira (26/09/2006) coletas de campo. Infere-se, assim, terem sofrido influência dos seguintes fatores: para a primeira (20/10/2005), segunda (18/11/2005) e décima terceira (26/09/2006) coletas de campo, deva ter sido pelos tipos de uso da terra, uma vez que se fazia presente o ciclo de solo exposto, somado com a ocorrência de elevados índices pluviométricos a 26 dias anteriores à realização das coletas (principalmente para a primeira coleta), ocasionando maior aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos carregado para o Reservatório; no entanto, para a primeira (20/10/2005), quarta (06/01/2006) e sétima (25/03/2006) coletas de campo, provavelmente por essa fase ter sofrido influência de maior concentração de índices pluviométricos correspondente a 26 e 7 dias anteriores à realização das coletas de campo (Figura 4.8).

Tabela 4.4 - Estatística descritiva dos dados de TSS (mg/L), do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS

Coleta	Mínimo	Máximo	Média	Variância
1c(20/10/2005)	5,80	14,16	7,72	3,87
2c(18/11/2005)	4,79	6,36	5,47	0,39
3c(14/12/2005)	2,01	3,87	2,95	0,21
4c(06/01/2006)	4,10	8,64	6,34	1,84
5c(01/02/2006)	0,00	2,64	1,00	0,64
6c(27/02/2006)	0,17	3,62	1,69	0,93
7c(25/03/2006)	3,17	4,92	4,04	0,23
8c(20/04/2006)	0,62	4,17	1,96	0,67
9c(16/05/2006)	0,87	2,34	1,54	0,20
10c(14/06/2006)	0,52	3,52	1,56	0,74
11c(07/07/2006)	0,00	4,22	1,17	1,12
12c(25/08/2006)	1,57	7,22	3,74	1,55
13c(26/09/2006)	6,32	11,67	8,99	1,31

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

Analisando-se a Tabela 4.3 pode-se inferir, pela média de baixa velocidade (7m/s), que o vento muito pouco interferiu no resultado dos valores do TSS da água do Reservatório.

Visualiza-se, nas Figuras 4.9 e 4.10 e na Tabela 4.4, que a primeira (20/10/2005), quarta (06/01/2006), décima primeira (07/07/2006), décima segunda (25/08/2006) e décima

terceira (26/09/2006) coletas de campo, apresentaram maior variância do TSS entre os pontos amostrais, durante o ano hidrológico. Possivelmente, isso ocorreu pela diversidade de fatores presentes nas sub-bacias da área de captação do Reservatório nos tipos de uso da terra (entre as classes de campo, agricultura e solo exposto) e também pelas condições atmosféricas, principalmente pelos índices de chuva variados, relacionados às respectivas coletas de campo.

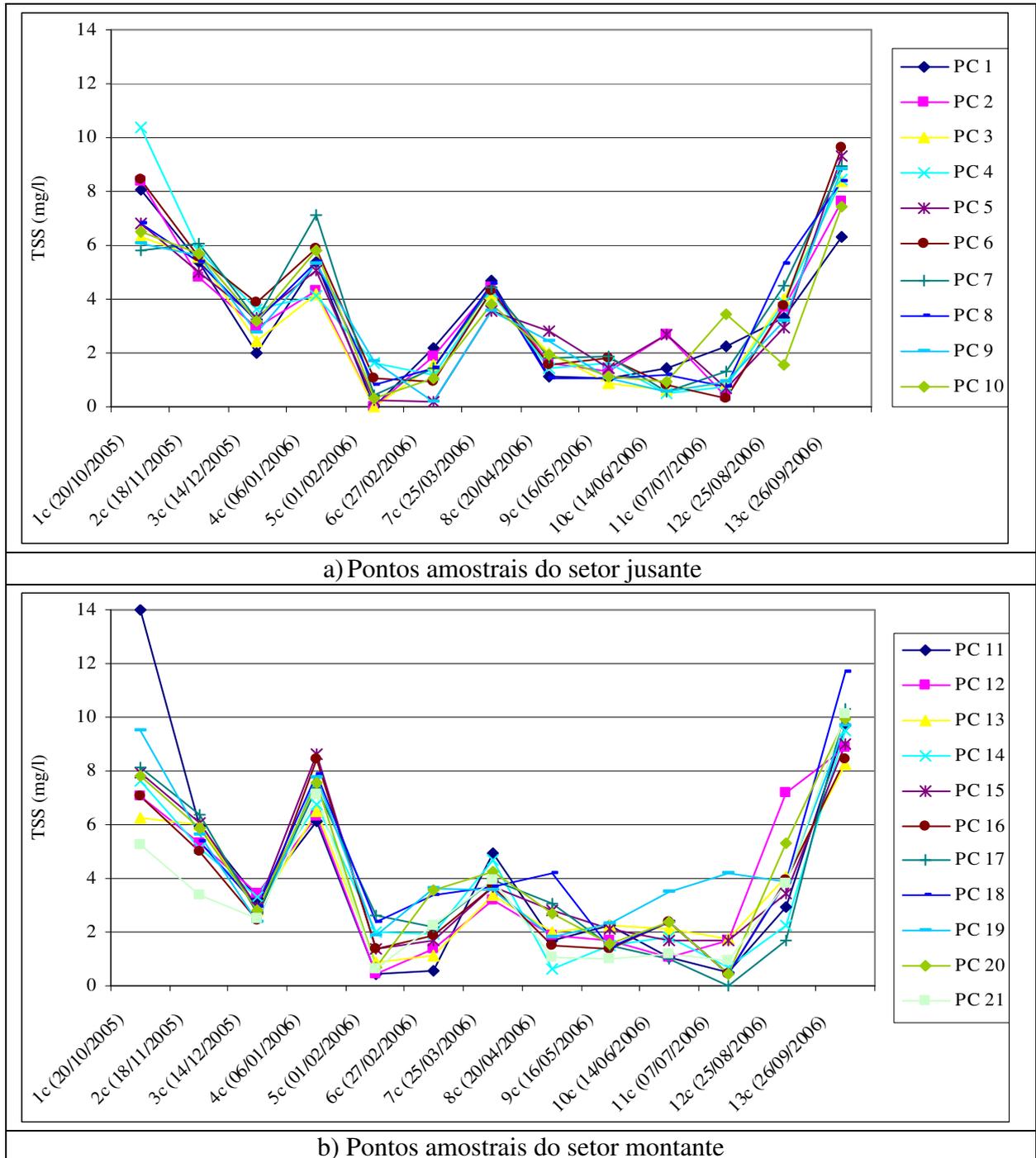


Figura 4.9 - Variação do TSS da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

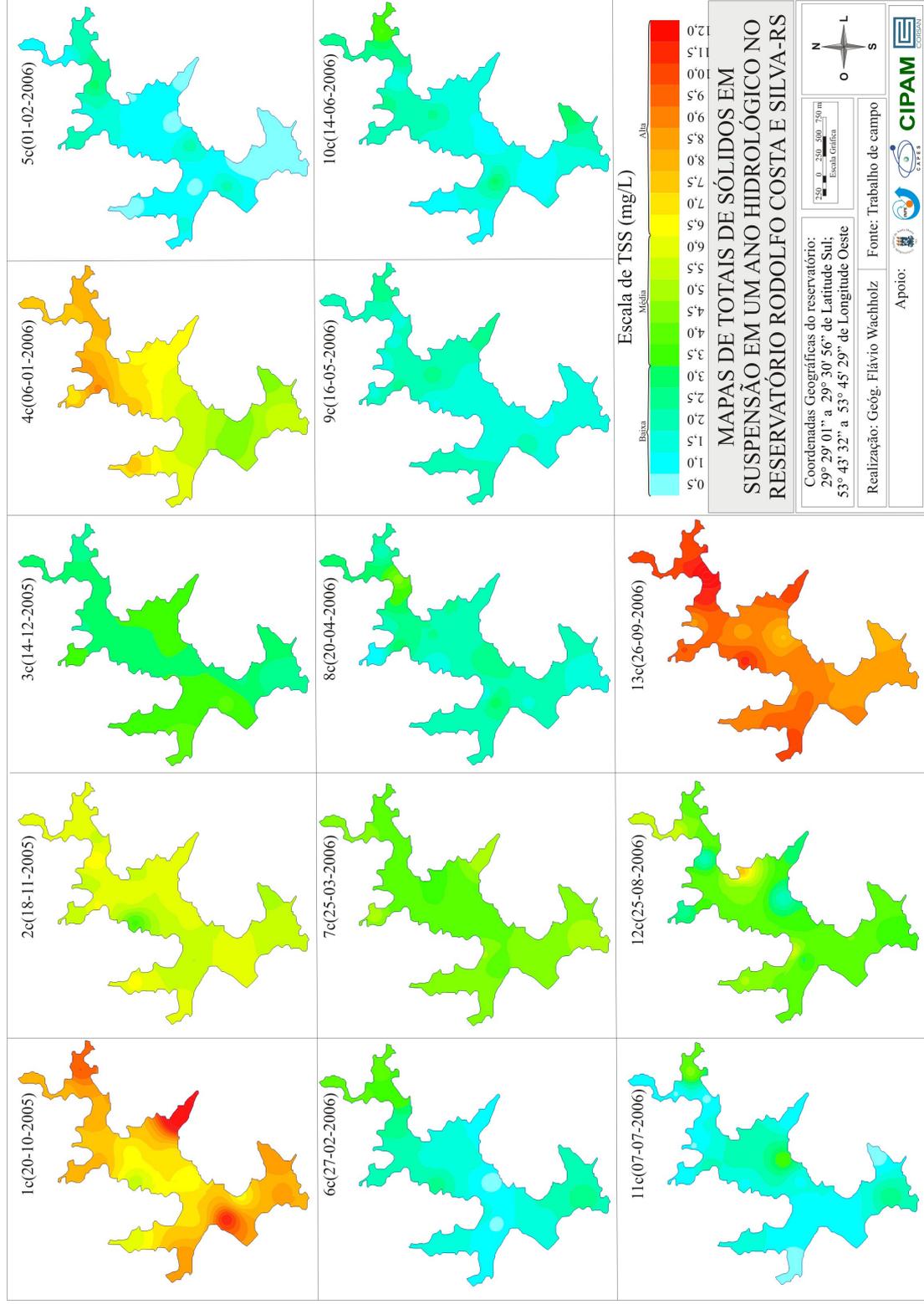


Figura 4.10 - Mapa da variação do TSS da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.
 Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

4.5.2 Transparência da água

A transparência da água obtida pela profundidade do disco de Secchi é uma importante variável limnológica, porque está intrinsecamente relacionada à disponibilidade de luz e energia solar na água (zona eufótica), como também pela quantidade de TSS (partículas e/ou nutrientes sólidos orgânicos e inorgânicos) presente na água.

A transparência da água é diretamente proporcional ao disco de Secchi e inversamente proporcional ao TSS, isto é, quanto maior a transparência, maior a profundidade do disco e, portanto, menor o valor do TSS presente na água e vice-versa. Assim, essa variável limnológica é fortemente vulnerável às condições do ecossistema terrestre, uma vez que, em áreas em que possa ocorrer forma de relevo mais dissecado, desmatamento, solo exposto sob condições de elevado índice pluviométrico e ventos fortes, há uma grande possibilidade da transparência da água ser mínima, devido ao elevado aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos carregado para o ambiente aquático (KIRK, 1996; ESTEVES, 1998; PEREIRA FILHO, 2000).

Verifica-se, nas Figuras 4.11 e 4.12 e Tabela 4.5, que a transparência da água do Reservatório na primeira (20/10/2005), segunda (18/11/2005), décima segunda (25/08/2006) e décima terceira (26/09/2006) coletas de campo, apresentou valor médio de baixa profundidade do disco de Secchi. Provavelmente, por influência de uso da terra com o ciclo agrícola de solo exposto, aliado às condições atmosféricas, ocorreu elevado índice pluviométrico antecedendo a 26 dias das coletas de campo. Desse modo, houve um aumento significativo do aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos carregado para o Reservatório, principalmente no setor montante, onde estão localizadas as três maiores sub-bacias de captação (SB3, SB4 e SB5).

Observa-se ainda, nas Figuras 4.11 e 4.12 e Tabela 4.5, que os menores valores médios de transparência foram encontrados na primeira (20/10/2005), quarta (06/01/2006) e sétima (25/03/2006) coletas de campo, possivelmente, por esse período ter sofrido influência de maior concentração de índices pluviométricos correspondente a 26 e 7 dias que antecedem a realização das coletas de campo, respectivamente, 101 mm, 40mm e 100mm de chuvas (Figura 4.8).

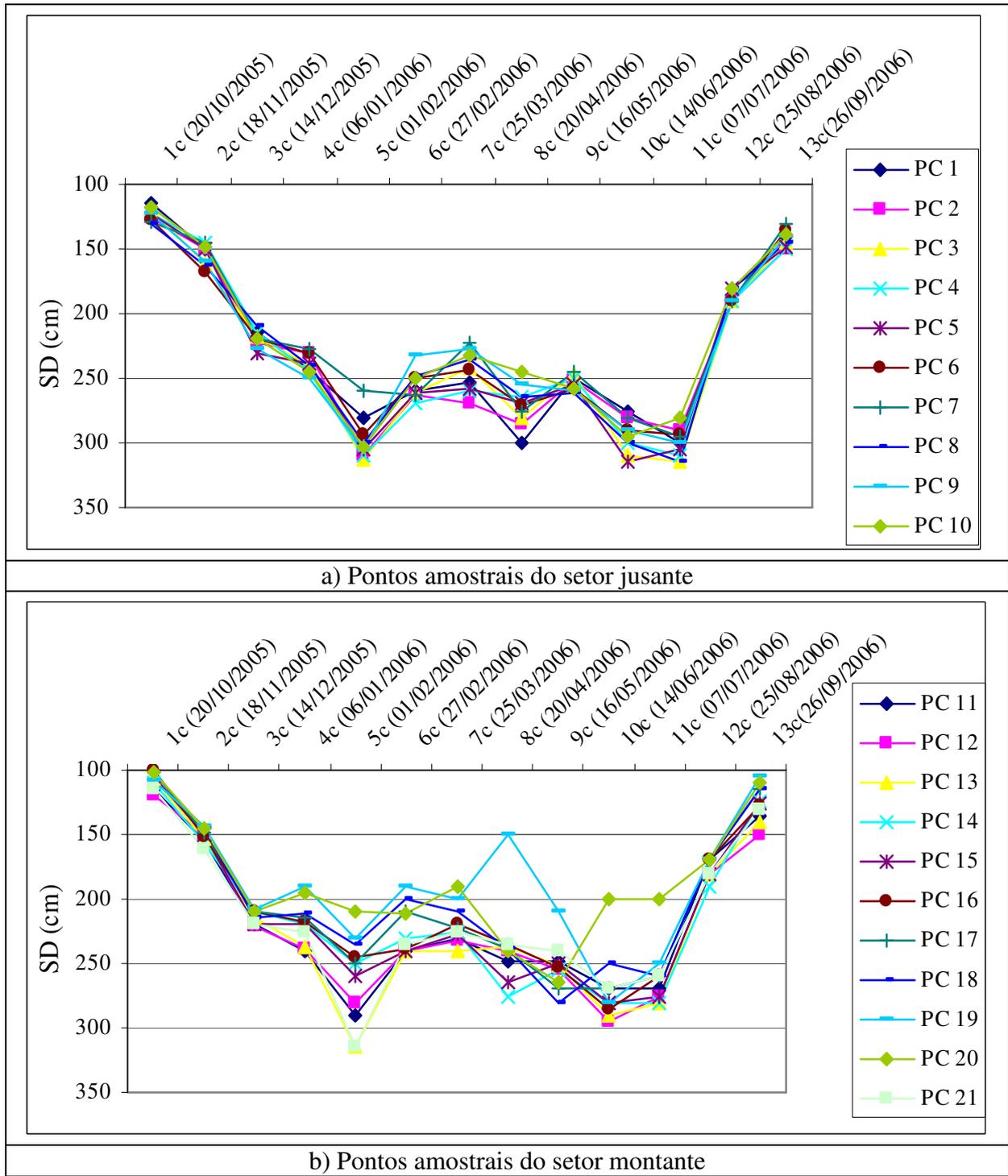


Figura 4.11 - Variação da transparência da água (DS) do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

Tabela 4.5 - Estatística descritiva dos dados de transparência da água (DS - cm), do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS

Coleta	Mínimo	Máximo	Média	Variância
1c(20/10/2005)	100	130	116	91
2c(18/11/2005)	143	167	152	48
3c(14/12/2005)	208	230	217	37
4c(06/01/2006)	190	250	229	261
5c(01/02/2006)	210	315	279	1051
6c(27/02/2006)	190	270	240	478
7c(25/03/2006)	190	270	232	369
8c(20/04/2006)	150	300	253	918
9c(16/05/2006)	210	281	253	178
10c(14/06/2006)	200	315	281	565
11c(07/07/2006)	200	315	280	717
12c(25/08/2006)	170	190	181	69
13c(26/09/2006)	105	150	133	188

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

Visualiza-se, nos dados amostrais da Figura 4.11 e Tabela 4.5, que a transparência da água aumenta gradualmente da primeira à quinta coleta de campo, respectivamente, com valores médios que oscilam em 116 centímetros, 152 centímetros, 217 centímetros, 229 centímetros e 279 centímetros. Esse resultado está vinculado ao período de transição de solo exposto ao início do ciclo de cultivo da soja (primeira fase: plantio), como também ao período de baixos índices pluviométricos correspondente a 26 e 7 dias que antecedem a realização das coletas de campo (Figura 4.8). Observa-se (Figuras 4.11 e 4.12 e Tabela 4.5), entretanto, que, a partir da sexta até a nona coleta de campo, a transparência da água sofre uma pequena diminuição, mantendo níveis médios entre 232 centímetros a 253 centímetros. Esse resultado é influenciado, provavelmente, por dois fatores: o primeiro, por atividades agrícolas, em que ocorreram o ciclo de cultivo da soja (terceira fase: colheita) e a entressafra (mês de maio); o segundo fator foi a ocorrência de médios índices pluviométricos correspondentes a 26 e 7 dias que antecederam a realização das coletas de campo.

Visualiza-se, nos dados amostrais da Figura 4.11 e Tabela 4.5, que a transparência da água do Reservatório diminui gradualmente a partir da décima à décima terceira coleta de campo, respectivamente, com valores médios entre 281 centímetros, 280 centímetros, 181 centímetros e 133 centímetros. Esse resultado está vinculado ao período de transição do ciclo de cultivo do trigo (entre junho a agosto) e ao início de solo exposto, como também ao período de aumento gradual de índices pluviométricos correspondente a 26 dias que antecedem a realização das coletas de campo.

Analisando-se a Tabela 4.3, infere-se que o vento, por sua média de baixa velocidade a 7m/s, nas coletas de campo, muito pouco influenciou no resultado dos valores da transparência da água do Reservatório, assim como em sua variância entre os pontos amostrais.

Observa-se ainda, nas Figuras 4.11 e 4.12, que, em todas as coletas de campo, houve uma leve tendência a diminuir a transparência da água do Reservatório nos pontos amostrais a montante. Acredita-se, a princípio, que esse resultado esteja relacionado aos diferentes tipos de uso da terra, pois, no setor montante, estão localizadas as três maiores sub-bacias de captação (SB3, SB4 e SB5); e, dessa forma, os pontos amostrais desse setor recebem elevado aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos oriundos do ambiente terrestre, que relacionado ao processo hidrodinâmico dentro do Reservatório, aliado às menores profundidades a montante, os sedimentos devem ir precipitando em direção a jusante (Figura 4.7). Outro fator, é o tempo de deposição menor a jusante, por ser uma área mais recente do Reservatório.

Verifica-se, nas Figuras 4.11 e 4.12 e na Tabela 4.5, que da quinta (01/02/2006) até a décima (14/06/2006) coleta de campo e, do setor montante, na quarta coleta de campo (06/01/2006), houve maior variância da transparência entre os pontos amostrais, durante o ano hidrológico. Provavelmente, isso tenha ocorrido pela diversidade de fatores presentes nas sub-bacias da área de captação do Reservatório, nos tipos de uso da terra (entre as classes de campo e agricultura), e também pelos índices pluviométricos variados, relacionados com as respectivas coletas de campo. Infere-se que, nos pontos amostrais 7 e 9, respectivamente da quinta (01/02/2006) e sexta (27/02/2006) coletas de campo, a transparência apresentou maior variância pelo fato de esses pontos se localizarem em área da classe campo e de contribuição direta. No caso, nos pontos amostrais 19, da oitava e nona coletas de campo, e 20, da décima e décima primeira coletas de campo, a transparência apresentou maior variância, uma vez que os pontos amostrais estavam situados em área de classe agricultura.

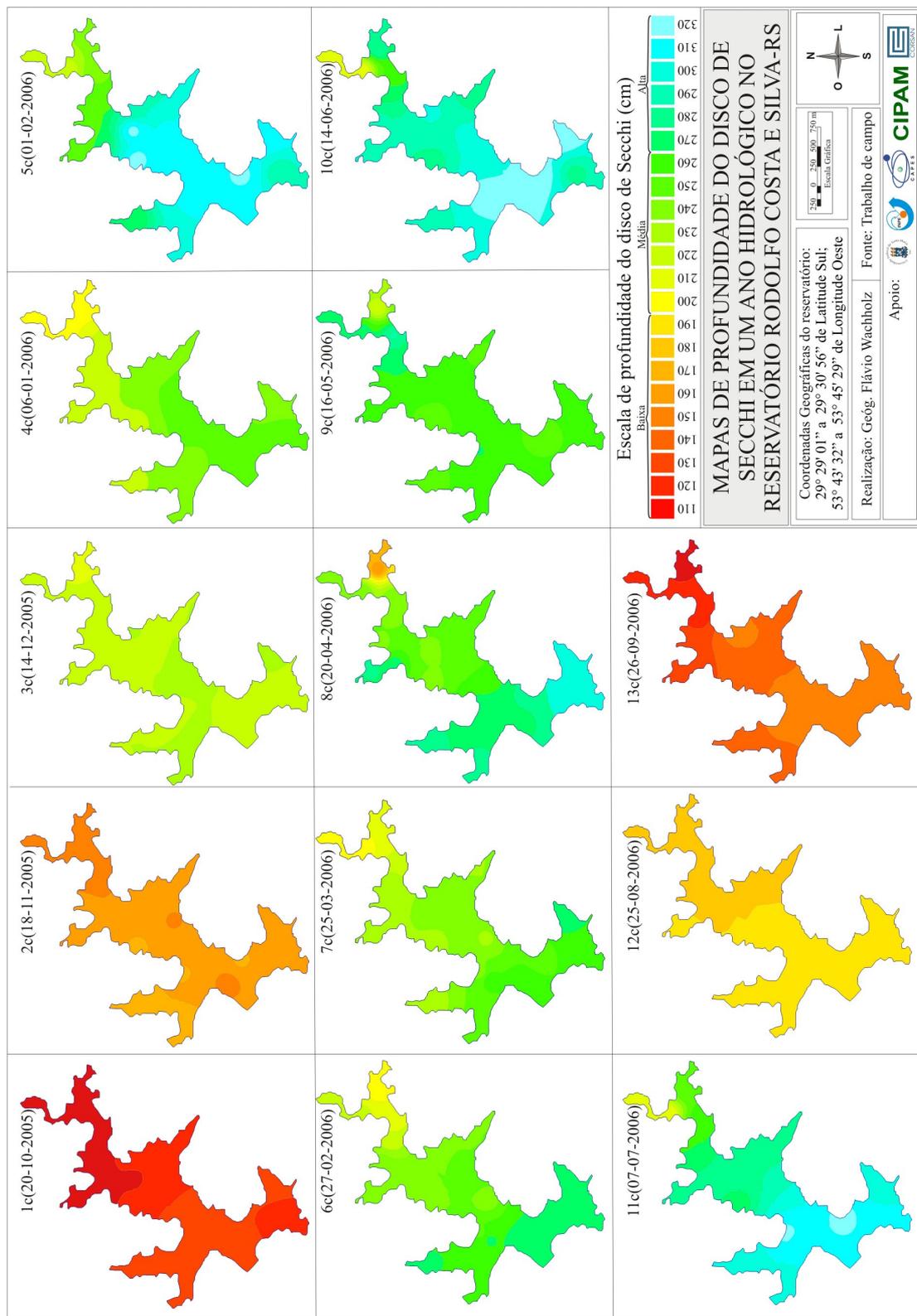


Figura 4.12 - Mapa da variação da transparência da água (DS) do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS. Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

4.5.3 Temperatura da água

A temperatura da água é fortemente influenciada pelos elementos e fatores climáticos e pela variação diária da temperatura do ar atmosférico, bem como por outras variáveis limnológicas, como o TSS e a transparência (TUCCI, 1993). Também a temperatura da água é diretamente proporcional à transparência (zona eufótica) e inversamente proporcional ao TSS, isto é, quanto maior a temperatura da água, maior a transparência e, portanto, menor o TSS e vice-versa. A Figura 4.13 apresenta dados das características da temperatura da água, por ponto amostral em cada coleta de campo.

Observa-se, na Figura 4.13 e na Tabela 4.6, que, na primeira (20/10/2005), segunda (18/11/2005) e décima terceira (26/09/2006) coletas de campo, o valor médio da temperatura da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva aumentou lenta e gradualmente, provavelmente, influenciado pelo período do ano hidrológico (início da primavera). Esse valor não apresentou média mais elevada da temperatura da água pelo fato de ter ocorrido o ciclo agrícola solo exposto (preparo do solo para plantio) e período de elevado índice pluviométrico correspondente a 26 e 7 dias que antecedem a realização das coletas de campo, principalmente na primeira (20/10/2005), carreando, assim, grande aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos para o Reservatório, aumentando o valor do TSS e, portanto, diminuindo tanto a transparência quanto a temperatura da água.

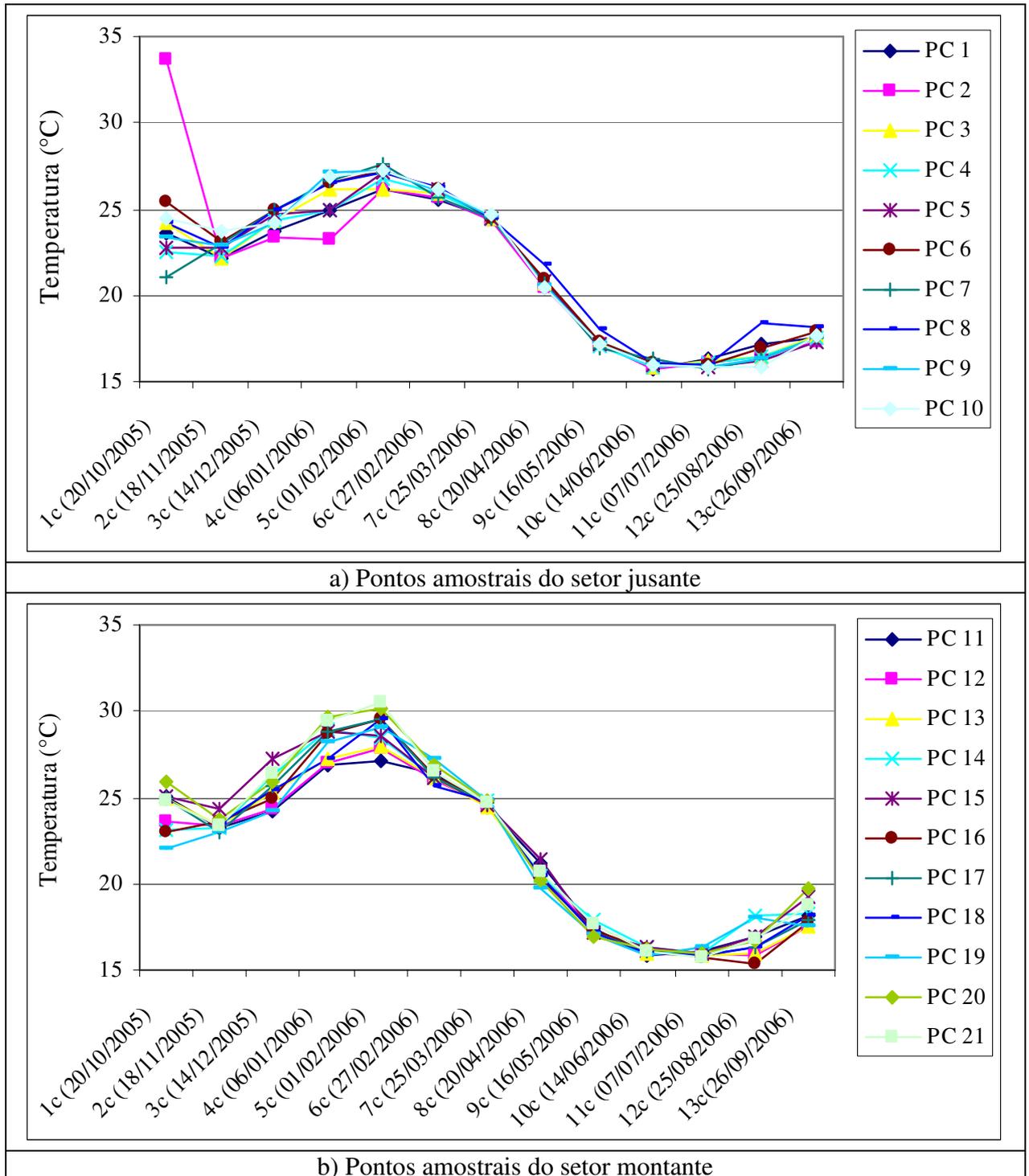


Figura 4.13 - Variação da temperatura da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.
 Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

Tabela 4.6 - Estatística descritiva dos dados de temperatura da água (°C), do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS

Coleta	Mínimo	Máximo	Média	Variância
1c(20/10/2005)	21,10	33,70	24,40	6,36
2c(18/11/2005)	22,10	24,30	23,09	0,32
3c(14/12/2005)	23,40	27,20	24,94	0,92
4c(06/01/2006)	23,30	29,70	27,10	2,75
5c(01/02/2006)	26,10	30,10	27,95	1,76
6c(27/02/2006)	25,50	27,20	26,14	0,16
7c(25/03/2006)	24,30	24,80	24,60	0,02
8c(20/04/2006)	19,70	21,80	20,65	0,19
9c(16/05/2006)	16,90	18,00	17,30	0,07
10c(14/06/2006)	15,70	16,30	16,02	0,03
11c(07/07/2006)	15,70	16,30	15,97	0,03
12c(25/08/2006)	15,40	18,40	16,67	0,58
13c(26/09/2006)	17,30	19,70	17,93	0,38

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

Visualiza-se, na Figura 4.13 e na Tabela 4.6, que, a partir da terceira (14/12/2005) até a sétima (25/03/2006) coleta de campo, houve um aumento no valor médio da temperatura da água do Reservatório, certamente influenciado por dois principais fatores: ocorreu no período hidrológico de verão, com destaque para a quarta (06/01/2006), quinta (01/02/2006) e sexta (27/02/2006) coletas de campo; aconteceu durante o ciclo agrícola de cultivo da soja, inclusive, na oitava coleta de campo (20/04/2006). Nas fases de plantio e crescimento vegetativo da soja, a água superficial apresenta baixa intensidade e volume de escoamento, desse modo, o aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos carregado para o Reservatório é pequeno. Nessa oportunidade, registrou-se diminuição do valor do TSS, aumento da transparência da água e da temperatura.

Observa-se, na Figura 4.13 e Tabela 4.6, que, a partir da nona (16/05/2006) até a décima segunda (25/08/2006) coleta de campo, o valor médio da temperatura da água do Reservatório diminuiu. Infere-se que esse período possa ter sofrido influência somente de um único fator: os períodos hidrológicos do final de outono e de todo o inverno. Infere-se ainda que, os ciclos agrícolas de entressafra, da nona coleta de campo (16/05/2006), e de cultivo do trigo, da décima (14/06/2006) até a décima segunda (25/08/2006) coleta de campo, provavelmente pouco influenciaram no resultado de baixa temperatura da água do Reservatório.

Em todas as coletas de campo, observa-se, nas Figuras 3.3 e 4.13 e na Tabela 4.6, que os primeiros pontos amostrais (a jusante) apresentaram menores valores médios de temperatura da água do Reservatório que nos demais pontos (a montante), fato que certamente

está relacionado com a hora do dia, já que a temperatura diária do ar atmosférico é influenciada por esse fator, pois as coletas dos primeiros pontos amostrais foram realizadas na parte da manhã, enquanto que as coletas dos demais pontos amostrais realizaram-se no final da manhã e na parte da tarde.

Observa-se, na Figura 4.13 e na Tabela 4.6, que, na primeira (20/10/2005), quarta (06/01/2006) e quinta (01/02/2006) coletas de campo e, do setor montante, na terceira coleta de campo (14/12/2005), houve maior variância da temperatura da água entre os pontos amostrais, durante o ano hidrológico. Possivelmente, isso ocorreu pela diversidade de fatores presentes nas sub-bacias da área de captação do Reservatório, como os tipos de uso da terra e o índice pluviométrico variado, relacionados com as respectivas coletas de campo. Infere-se que o ponto amostral 2, da primeira coleta de campo (20/10/2005), apresentou maior variância de temperatura da água do Reservatório, provavelmente por ter ocorrido um erro de medida e/ou registro.

4.5.4 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é uma variável limnológica de vital importância no metabolismo do ecossistema aquático, por estar relacionada à capacidade de propagar energia elétrica e às partículas e/ou nutrientes sólidos dissolvidos na água (TDS), podendo ajudar na identificação de fontes poluidoras (ESTEVES, 1998; PEREIRA FILHO, 2000). Um dado importante a saber é que o seu valor é inversamente proporcional ao valor do índice pluviométrico, isto é, quanto maior o valor do índice pluviométrico, menor o valor da condutividade elétrica, e vice-versa.

Verifica-se, na Figura 4.14 e na Tabela 4.7, que, na primeira (20/10/2005) e segunda (18/11/2005) coletas de campo, a condutividade elétrica apresentou baixos valores médios (entre 30 a 35 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Levando-se em conta que os valores da condutividade elétrica são inversamente proporcionais aos valores do índice pluviométrico, provavelmente, esse resultado ocorreu por essa variável ter sofrido influência de elevada concentração de índices pluviométricos correspondente a 26 e 7 dias anteriores à realização das coletas de campo (Figura 4.8).

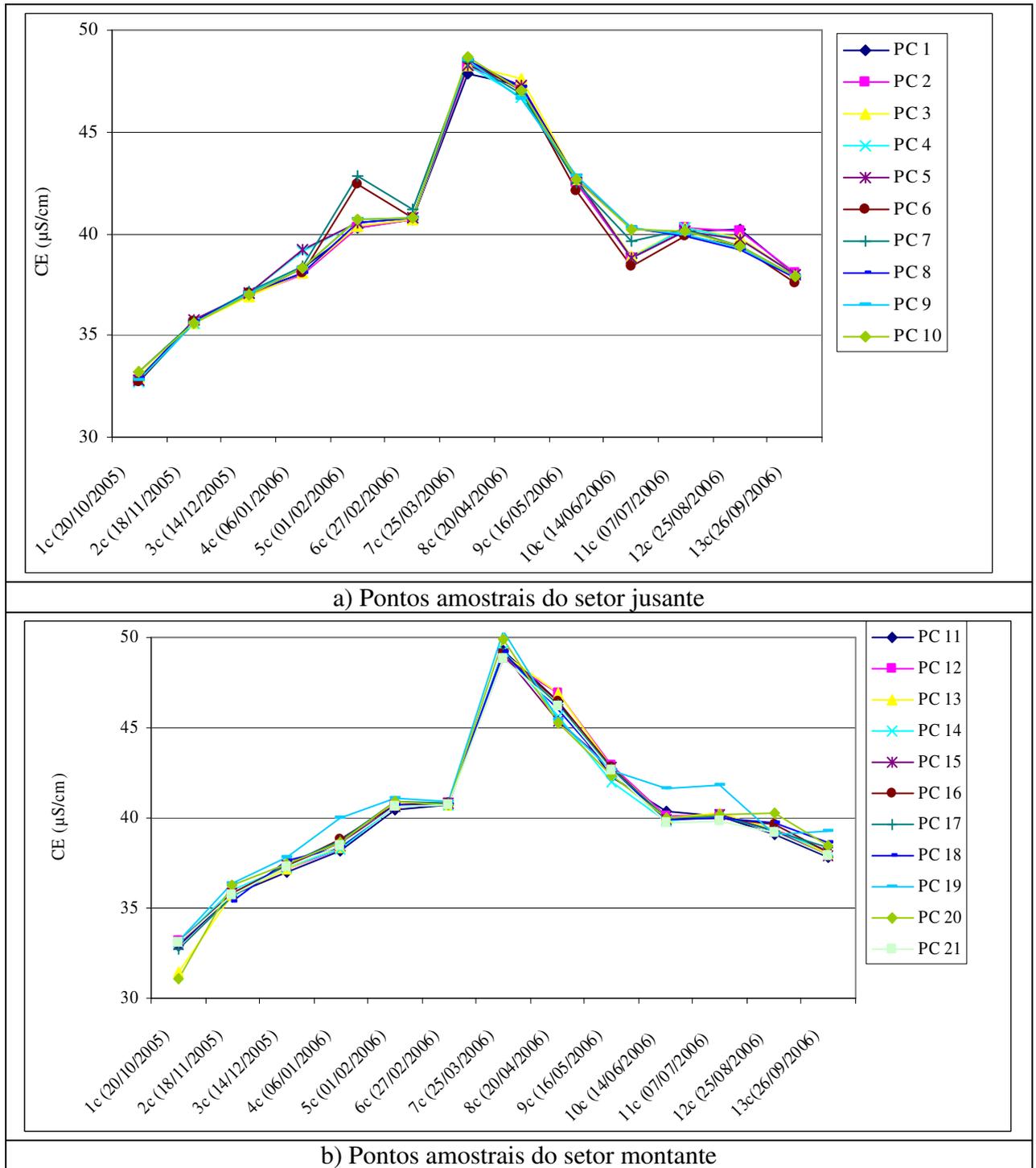


Figura 4.14 - Variação da condutividade elétrica da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

Tabela 4.7 - Estatística descritiva dos dados de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS

Coleta	Mínimo	Máximo	Média	Variância
1c(20/10/2005)	31,10	33,20	32,79	0,30
2c(18/11/2005)	35,40	36,40	35,75	0,05
3c(14/12/2005)	36,90	37,80	37,23	0,05
4c(06/01/2006)	38,00	40,00	38,51	0,21
5c(01/02/2006)	40,30	42,80	40,81	0,39
6c(27/02/2006)	40,70	41,20	40,78	0,01
7c(25/03/2006)	47,90	50,40	48,84	0,36
8c(20/04/2006)	45,30	47,60	46,57	0,47
9c(16/05/2006)	42,00	42,90	42,59	0,05
10c(14/06/2006)	38,40	41,60	39,72	0,56
11c(07/07/2006)	39,80	41,80	40,20	0,16
12c(25/08/2006)	39,10	40,30	39,52	0,12
13c(26/09/2006)	37,60	39,30	38,10	0,13

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

Observa-se, na Figura 4.14 e na Tabela 4.7, que, na terceira (14/12/2005), quarta (06/01/2006), quinta (01/02/2006), sexta (27/02/2006), décima (14/06/2006), décima primeira (07/07/2006), décima segunda (25/08/2006) e décima terceira (26/09/2006) coletas de campo, a condutividade elétrica apresentou médios valores (entre 35 a 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Possivelmente, esse resultado foi influenciado pelos médios índices pluviométricos ocorridos a 26 e 7 dias anteriores à realização dos trabalhos de coletas de campo (Figura 4.8).

Visualiza-se, na Figura 4.14 e na Tabela 4.7, que, na sétima (25/03/2006), oitava (20/04/2006) e nona (16/05/2006) coletas de campo, os valores médios da condutividade elétrica apresentaram-se elevados (entre 42 a 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Infere-se que, na nona coleta de campo (16/05/2006), esse resultado possa ter sofrido influência da baixa concentração de índices pluviométricos correspondente a 26 e 7 dias anteriores à realização dos trabalhos de coletas de campo. Entretanto, na sétima (25/03/2006) e oitava (20/04/2006) coletas de campo, esse elevado valor médio da condutividade elétrica, possivelmente possa ter sido influenciado pela “palha” resultante do cultivo agrícola na área de captação do Reservatório.

Observa-se, na Figura 4.14 e na Tabela 4.7, que, na maioria das coletas de campo realizadas no Reservatório Rodolfo Costa e Silva, a variância dos valores da condutividade elétrica, manteve-se praticamente constante e homogênea, exceto nos pontos de coleta 6 e 7, da quinta coleta de campo (01/02/2006), e no ponto de coleta 19, respectivamente, da quarta (06/01/2006), décima (14/06/2006) e décima primeira (07/07/2006) coletas de campo, que apresentaram maior variância que os demais pontos de coleta. Provavelmente, esse valor de variância tenha sofrido influência dos sedimentos depositados no fundo do Reservatório, pois

nesse local os compartimentos aquáticos apresentam baixa profundidade, ou pode ser oriundo de alguma ação antrópica realizada nas sub-bacias 1 e 2 (Figuras 3.3 e 4.2).

4.5.5 Total de sólidos dissolvidos (TDS)

Observa-se, na Figura 4.15, que, em todas as coletas de campo do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, os valores de TDS oscilaram entre 14 a 24mg/L. Verifica-se, assim, que esse resultado apresentou-se bem abaixo do recomendado pela classificação mundial da água. Segundo Tundisi et al. (1999), designa-se como água doce aquela que apresenta teor de TDS inferior a 1.000mg/L, o que prova, quanto a essa variável, boa qualidade da água do Reservatório.

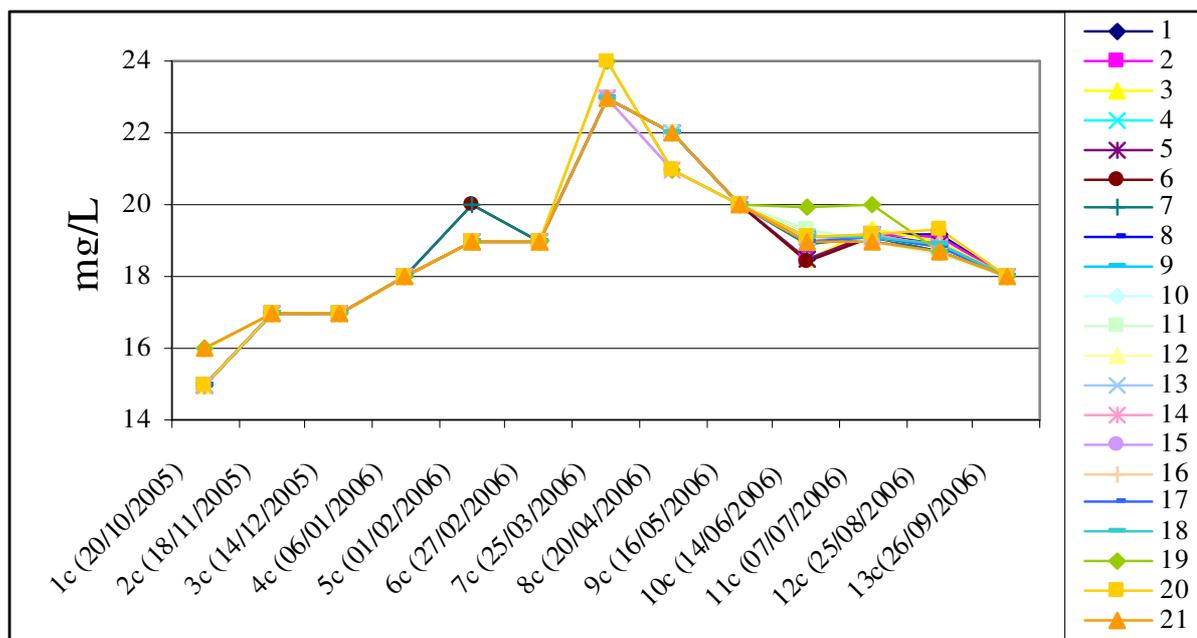


Figura 4.15 - Variação do TDS da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

Observa-se, na Figura 4.15, que, na primeira (20/10/2005), segunda (18/11/2005) e terceira (14/12/2005) coletas de campo, o TDS apresentou baixos valores médios (entre 14 a 17mg/L). Acredita-se que, possivelmente, ele tenha sofrido influência de elevado valor de índices pluviométricos correspondente a 26 e 7 dias anteriores à realização dos trabalhos de coletas de campo (Figura 4.8).

Verifica-se, na Figura 4.15, que na quarta (06/01/2006), quinta (01/02/2006), sexta (27/02/2006), décima (14/06/2006), décima primeira (07/07/2006), décima segunda

(25/08/2006) e décima terceira (26/09/2006) coletas de campo, o TDS apresentou médios valores (entre 18 a 20mg/L). Supostamente, esse resultado foi influenciado pelos baixos índices pluviométricos ocorridos a 26 e 7 dias que antecedem a realização dos trabalhos de coletas de campo (Figura 4.8).

Visualiza-se, na Figura 4.15, que, na sétima (25/03/2006), oitava (20/04/2006) e nona (16/05/2006) coletas de campo, o TDS apresentou valor mais elevado que nas outras coletas (entre 20 a 24mg/L). Infere-se que, na nona coleta de campo (16/05/2006), esse resultado possa ter sofrido influência da baixa concentração de índices pluviométricos correspondente a 26 e 7 dias anteriores à realização dos trabalhos de coletas de campo. No entanto, na sétima (25/03/2006) e oitava (20/04/2006) coletas de campo, esse elevado valor médio do TDS, provavelmente possa ter sofrido influência da “palha” resultante do cultivo agrícola na área de captação do Reservatório.

Verifica-se, na Figura 4.15, que, em todas as coletas de campo, o valor de variância do TDS apresentou-se constante e praticamente homogêneo, exceto nos pontos de coleta 6 e 7, da quinta coleta de campo (01/02/2006) e no ponto de coleta 19, respectivamente, da décima (14/06/2006) e décima primeira (07/07/2006) coletas de campo, que apresentaram maior variância que os demais pontos de coleta. Infere-se que, possivelmente, ocorreu maior variância de TDS, nesses pontos, devido à influência de sedimentos do fundo do Reservatório, por serem compartimentos aquáticos de baixa profundidade (Figura 4.7). Desse modo, é possível constatar que esse comportamento do TDS é relativamente semelhante ao resultado apresentado pela condutividade elétrica (Figura 4.14).

4.5.6 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é uma variável limnológica importante para a conservação da qualidade da água, visto que alterações nos seus valores (pH = 7,0 é neutro; pH < 7,0 é ácido e pH > 7,0 é alcalino) podem pôr em risco a sua qualidade, acarretar mudanças químicas e, conseqüentemente, provocar danos à fauna e à flora aquáticas, ao homem, aos animais e ainda causar problemas nas tubulações das redes de distribuição de água (BRANCO e ROCHA, 1977).

Verifica-se, na Figura 4.16 e na Tabela 4.8, que o pH da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, da primeira até a quinta coleta de campo foi alcalino, oscilando entre 7,0 a 8,3. Infere-se que esse resultado seja derivado, provavelmente, da influência do ciclo de solo

exposto e de elevados índices pluviométricos acumulados a 26 dias anteriores à realização das coletas de campo. A primeira coleta de campo (20/10/2005) também sofreu influência de elevados índices pluviométricos a 7 dias anteriores à realização das coletas de campo.

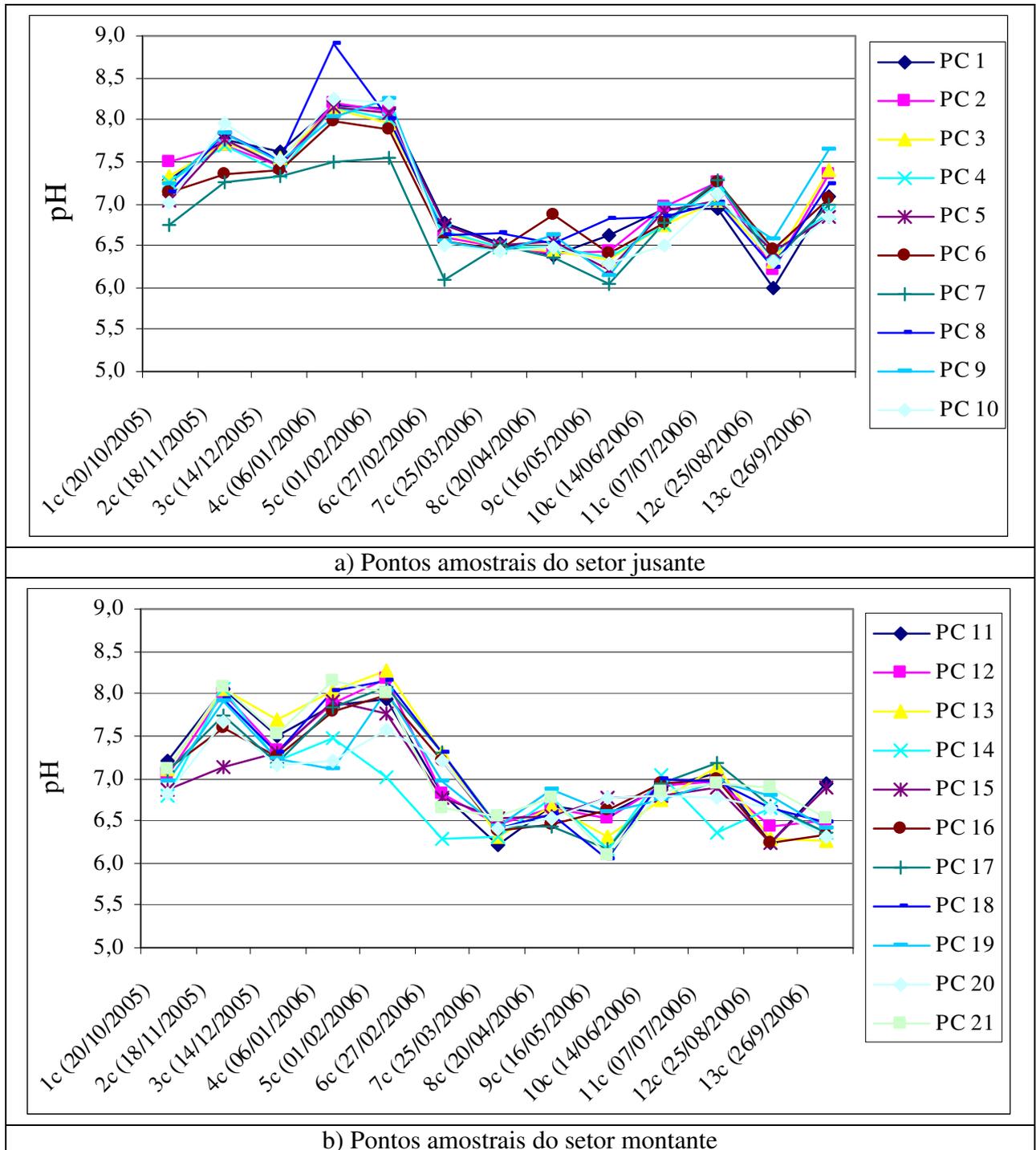


Figura 4.16 - Variação do potencial Hidrogeniônico (pH) da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS.

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

Tabela 4.8 - Estatística descritiva dos dados de pH, do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS

Coleta	Mínimo	Máximo	Média	Variância
1c(20/10/2005)	6,75	7,50	7,09	0,04
2c(18/11/2005)	7,14	8,07	7,77	0,07
3c(14/12/2005)	7,16	7,68	7,40	0,02
4c(06/01/2006)	7,12	8,90	7,94	0,15
5c(01/02/2006)	7,02	8,28	7,96	0,08
6c(27/02/2006)	6,09	7,31	6,78	0,11
7c(25/03/2006)	6,21	6,65	6,45	0,01
8c(20/04/2006)	6,35	6,87	6,57	0,02
9c(16/05/2006)	6,04	6,83	6,39	0,06
10c(14/06/2006)	6,50	7,04	6,85	0,02
11c(07/07/2006)	6,35	7,27	7,02	0,04
12c(25/08/2006)	6,00	6,90	6,43	0,05
13c(26/09/2006)	6,25	7,65	6,79	0,17

Fonte: Trabalho de campo (2005/2006).

Observa-se, na Figura 4.16 e na Tabela 4.8, que o pH da água do Reservatório, a partir da sexta até a décima terceira coleta de campo, foi ácido, com valor oscilando entre 6,0 a 7,0. Acredita-se que as respectivas coletas de campo apresentaram esse valor, por influência de dois fatores: primeiro, por terem ocorrido nos ciclos de cultivo da soja, da entressafra e do trigo; e segundo, por valores acumulados de índices pluviométricos a 26 dias anteriores à realização das coletas de campo terem sido relativamente baixos, exceto na décima segunda e décima terceira coletas de campo, quando esses valores foram mais elevados.

Apesar de diferenças encontradas no valor médio do pH entre dois grupos distintos de coletas de campo, ou seja, da primeira até a quinta coleta de campo, o valor de pH oscilou entre 7,0 a 8,3 (alcalino); já, a partir da sexta coleta de campo até a décima terceira, o valor de pH oscilou entre 6,0 a 7,0 (ácido). Desse modo, constatou-se que, em todos os pontos amostrais de todas as coletas de campo, os valores médios de pH (6,0 a 8,3) apresentados na água do Reservatório estão conforme resoluções estabelecidas pelo CONAMA (1985/2002), ficando entre 6,0 a 9,5 para água de consumo do homem e dos animais.

Visualiza-se, na Figura 4.16 e na Tabela 4.8, que a água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva apresentou baixa e homogênea variância do seu pH em quase todas as coletas de campo e pontos amostrais, exceto nos seguintes pontos de coleta, que apresentaram maior variância: o ponto amostral 6, na segunda (18/11/2005) e oitava (20/04/2006) coletas de campo; o ponto de coleta 7, da primeira à sexta coleta de campo; o ponto amostral 8, na quarta coleta de campo (06/01/2006); o ponto de coleta 14, na quarta, quinta, sexta e décima primeira coletas de campo; e o ponto amostral 15, da segunda coleta de campo (18/11/2005).

Desse modo, examinando também as Figuras 3.3 e 4.2, infere-se que, em todos esses pontos amostrais (6, 7, 8, 14 e 15), o principal fator que contribuiu para a maior variância do pH da água do Reservatório foi a classe pecuária, que vem se desenvolvendo em período permanente na área do entorno do Reservatório. Verificou-se também que, possivelmente, os pontos amostrais 8, 14 e 15 apresentaram esse resultado, por se localizarem numa área de contribuição direta.

4.6 Análise integrada dos ecossistemas terrestre e aquático

A análise dos dados coletados referente aos ambientes terrestre e aquático em conjunto revela características importantes que ocorrem tanto na área de captação das sub-bacias do Reservatório quanto nas variáveis limnológicas de sua lâmina de água; conferindo assim coerência entre os resultados encontrados nos dois ecossistemas.

As coletas e medidas das variáveis limnológicas do Reservatório foram realizadas em períodos distintos durante um ano. Elas foram programadas para ocorrer próximas ou na data de passagem de um dos satélites (CBERS-2 CCD e LANDSAT-5 TM) sobre a área de estudo (Quadro 3.1). As variáveis limnológicas que apresentam maiores efeitos, quanto ao ambiente terrestre, são: total de sólidos em suspensão (TSS) e transparência da água (DS).

Da análise dos dados derivados do mapa temático de declividade (Figura 4.1), e da quantificação das classes de declividade (Tabela 4.1), identificou-se que a maioria da área de captação do Reservatório apresenta formas do relevo pouco dissecadas, variando em formas plana (46,51%), fraca ondulada (26,01%) e média ondulada (21,78%); assim é uma área restrita a problemas ambientais, como erosão do solo e assoreamento dos rios, lagos e demais mananciais. Por apresentar esse modelado geomorfológico, infere-se que a área de captação das sub-bacias do Reservatório, de um modo geral, é fortemente favorável ao uso da terra, inclusive, à produção agrícola. Entretanto, as sub-bacias 7 e 8 apresentam menor área em relação às outras sub-bacias e maior percentual de formas do relevo mais dissecadas (onduladas), sendo, por isso, menos propícias ao uso da terra, principalmente à agricultura; no entanto, são mais favoráveis ao desenvolvimento de atividades de campo e/ou pecuária e à manutenção de APP.

O mapeamento e a quantificação dos tipos de uso da terra representados pelas seis classes de uso da terra (floresta, campo, agricultura, solo exposto, NPV e água) foram correlacionadas com quatro ciclos agrícolas (solo exposto, ciclo da soja, entressafra e ciclo do

trigo). Desse modo, analisando a Figura 4.2 e a Tabela 4.2, observa-se que a classe denominada floresta apresenta 460,62 hectares de área, correspondente a 9,44% do total da área de captação do Reservatório distribuída pelos quatro ciclos agrícolas. Devido a esse resultado, infere-se que a maior parte dessa classe localiza-se nas APP, principalmente na faixa marginal dos rios das sub-bacias da área de captação de estudo, conforme observado também na Figura 4.4. No entanto, comparando, à luz de resoluções da legislação ambiental federal, esse percentual de vegetação é bem inferior ao mínimo exigido como APP.

Observando-se, na Figura 4.2 e principalmente na Tabela 4.2, as classes campo, agricultura, solo exposto e vegetação não fotossinteticamente ativa (NPV) relacionadas aos valores percentuais dos respectivos ciclos agrícolas (solo exposto, ciclo da soja, entressafra e ciclo do trigo), identificou-se que o uso da terra nessas classes, por ciclo agrícola, do total da área de captação do Reservatório, atingiu a média percentual em torno de 80% (Figura 4.2 e Tabela 4.2). Assim, comparando esse resultado com a média percentual representada pela classe floresta de aproximadamente 9,44% e com resoluções estabelecidas pelo Código Florestal Brasileiro (1965), que define um percentual maior de cobertura da terra com floresta como forma de preservá-la das ações naturais e antrópicas, acredita-se que a área de estudo vem apresentando uma sobrecarga com cultivo agrícola, o que contribui, sobremaneira, para o desequilíbrio do ambiente, tanto do ecossistema terrestre quanto do aquático. Os índices pluviométricos e a velocidade do vento (carreando, através do escoamento superficial, o aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos, sendo maior no ciclo de solo exposto), tendem a causar problemas como erosão do solo, assoreamento dos rios e do Reservatório e alteração nas variáveis limnológicas (como a transparência da água e o TSS), poluindo e contaminando a água, entre outros (TUCCI, 1993; ROCHA, 1999; TUNDISI et al., 1999).

Tendo por base as resoluções estabelecidas pelo Código Florestal Brasileiro (1965) e pelo CONAMA (1985/2002), foram definidas como áreas de preservação permanente (APP) e reservas ecológicas da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva as florestas e demais formas de vegetação natural, identificadas apenas em função da rede de drenagem, não utilizando a influência da geomorfologia, porque as feições do relevo da área de estudo são modestas, na maioria planas a fracamente onduladas. Nesse sentido, observa-se, na Figura 4.4, que o mapeamento e a quantificação das APP apresentaram os seguintes percentuais: 27,32% para os 100 metros de distância de APP da área total do entorno do Reservatório; 68,15% para à distância de 30 metros de APP da faixa marginal da área total das drenagens; e 4,53% num raio de 50 metros de largura de APP da área total das nascentes. Portanto, de

acordo com esses dados e com a Figura 4.4, a área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva apresenta como área total de APP 737,16 hectares.

O mapa temático de conflitos ambientais da área de captação do Reservatório foi elaborado através da sobreposição ou cruzamento dos mapas temáticos de uso da terra e das APP, à luz da legislação ambiental federal, estabelecendo-se assim os conflitos ambientais que ocorrem tanto na faixa marginal das drenagens da área de estudo como também nas áreas que envolvem o entorno das nascentes e do próprio Reservatório (Figura 4.5). Desse modo, visualiza-se, na Figura 4.5, que as APP estão representadas por apenas 26,42% (194,76 hectares) de florestas e demais formas de vegetação natural. Cerca de 72,39% (533,63 hectares) das APP da área de captação do Reservatório apresenta-se com conflitos ambientais, pois nessa área são desenvolvidas atividades de campo e agrícolas em substituição às florestas. Assim, acredita-se que o uso da terra nessa área vem causando sérios problemas nos ecossistemas terrestre e aquático.

O total de sólidos em suspensão (TSS) e a transparência da água são variáveis limnológicas que estão intrinsecamente relacionadas com o ecossistema terrestre, seja pela influência de fenômenos naturais, com destaque para a geomorfologia e para as condições atmosféricas (índices pluviométricos e velocidade do vento), seja pelas ações antrópicas nele desenvolvidas, principalmente com as classes e/ou tipos de uso da terra, como campo, agricultura e solo exposto. Desse modo, o aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos é carregado do ambiente terrestre por ações de escoamento superficial e/ou pelo vento, para o ecossistema aquático (CURRAN e NOVO, 1988; TUNDISI, et al., 1999; PEREIRA FILHO, 2000). Assim, observa-se, nas Figuras 4.9 e 4.11 e Tabelas 4.4 e 4.5, que o TSS e a transparência da água do Reservatório são as variáveis limnológicas que apresentaram maiores variações nos seus valores médios entre as coletas de campo realizadas durante o ano hidrológico de sua área de captação.

Visualiza-se, nas Figuras 4.9 e 4.10 e na Tabela 4.4, que os maiores valores médios de TSS foram encontrados na primeira (20/10/2005), segunda (18/11/2005), quarta (06/01/2006), sétima (25/03/2006) e décima terceira (26/09/2006) coletas de campo. Nesse caso, acredita-se que o TSS apresentou valores médios elevados na primeira (20/10/2005) e segunda (18/11/2005) coletas de campo, pelo fato de a água do Reservatório ter recebido maior aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos carregado do ecossistema terrestre no período agrícola da classe solo exposto (preparo do solo para plantio). Percebe-se que, na décima terceira coleta de campo (26/09/2006), esse valor médio do TSS também foi elevado pelo mesmo motivo dos anteriores, ou seja, foi o período que reiniciou o ciclo solo exposto, principalmente na área a

montante, onde estão localizadas as três maiores sub-bacias de captação (SB3, SB4 e SB5) e, dessa forma, o maior sistema hídrico da área de captação do Reservatório (Figura 4.2). Verifica-se ainda que os maiores valores médios de TSS foram encontrados na primeira (20/10/2005), quarta (06/01/2006) e sétima (25/03/2006) coletas de campo, provavelmente por influência de maior concentração de índices pluviométricos, respectivamente 101mm, 40mm e 100mm de chuvas (Figura 4.8), correspondente a 26 e 7 dias anteriores à realização das coletas de campo. Diante desse resultado, infere-se que, para todas as coletas de campo realizadas no período hidrológico, a baixa velocidade média do vento a 7m/s muito pouco interferiu no valor médio do TSS (Tabela 4.3).

Na análise comparativa do comportamento das variáveis de TSS e transparência da água, representado nas Figuras 4.9 e 4.11 e nas Tabelas 4.4 e 4.5, percebe-se claramente que o valor de suas características limnológicas é inversamente proporcional. Na primeira (20/10/2005), segunda (18/11/2005), quarta (06/01/2006), sétima (25/03/2006) e décima terceira (26/09/2006) coletas de campo, os elevados valores médios de TSS contrastam com as menores profundidades representadas pelo disco de Secchi, ou seja, mostram uma menor transparência medida na água do Reservatório. Visualiza-se que a transparência apresentou valores médios baixos na primeira (20/10/2005), segunda (18/11/2005) e décima terceira (26/09/2006) coletas de campo, pelo fato de a água do Reservatório ter recebido maior aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos carreado do ambiente terrestre durante o ciclo solo exposto. Infere-se também que os menores valores médios de transparência foram encontrados na primeira (20/10/2005), quarta (06/01/2006) e sétima (25/03/2006) coletas de campo, possivelmente pelos elevados índices pluviométricos ocorridos a 26 e 7 dias anteriores às coletas de campo (Figura 4.8). Observa-se, na Figura 4.11 e na Tabela 4.5, que a transparência da água aumenta gradualmente da primeira à quinta coleta de campo. Provavelmente, esse resultado está vinculado ao período de transição de solo exposto ao início do ciclo de cultivo da soja, como também ao período de baixos índices pluviométricos correspondente a 26 e 7 dias que antecedem a realização das coletas de campo. Também é possível verificar que a transparência da água do Reservatório diminui gradualmente a partir da décima primeira à décima terceira coleta de campo. Esse resultado está vinculado ao período de transição do ciclo de cultivo do trigo ao início de solo exposto e também ao período de aumento gradual de índices pluviométricos correspondente a 26 dias que antecedem a realização das coletas de campo.

Observa-se ainda que, nas coletas de campo, houve uma leve tendência a diminuir a transparência da água nos pontos amostrais a montante (Figuras 4.11 e 4.12). A princípio,

esse resultado está relacionado com as classes de uso da terra, pois a montante estão localizadas as três maiores sub-bacias de captação (SB3, SB4 e SB5), conforme Figura 4.2. Essas sub-bacias apresentam grandes propriedades agrícolas, com maior probabilidade de aumento significativo do aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos carregado para o Reservatório no período de solo exposto e de maiores índices pluviométricos. Poderá estar também aliado a esse fator o menor tempo de permanência da água a montante.

Da análise dos dados apresentados pela temperatura da água, conforme Figura 4.13 e Tabela 4.6, infere-se que podem estar relacionados diretamente com os elementos e fatores climáticos, à variação diária de temperatura do ar atmosférico e também com algumas variáveis limnológicas como o TSS e a transparência da água. Assim, analisando a Figura 4.13 e a Tabela 4.6, observou-se que, a partir da terceira (14/12/2005) até a sétima (25/03/2006) coleta de campo, a temperatura da água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva apresentou um valor médio elevado, que provavelmente sofreu influência de dois fatores: o primeiro é que, nesse período, ocorreu a estação de verão (maiores médias térmicas do ar atmosférico e, conseqüentemente, as maiores médias de temperatura da água) - esse dado é confirmado por que as maiores médias térmicas (entre 25 a 30°C) ocorreram justamente entre a quarta e a sexta coletas de campo (meses de janeiro e fevereiro); o outro fator, possivelmente, por ter ocorrido nas fases de plantio e crescimento vegetativo da soja, período em que o volume e a intensidade de escoamento da água superficial é fraco, assim o aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos carregado para o Reservatório é pequeno, diminuindo o valor do TSS e, portanto, aumentando a zona eufótica, a transparência da água e, conseqüentemente, a sua temperatura.

Analisando a Figura 4.13 e a Tabela 4.6, verificou-se que, a partir da nona (16/05/2006) até a décima segunda (25/08/2006) coleta de campo, o valor médio da temperatura da água do Reservatório baixou, mantendo médias térmicas em torno de 17°C. Infere-se que o fator de destaque para esse fato tenha sido apenas a influência da estação de inverno. Certamente, os ciclos agrícolas de entressafra e cultivo do trigo não devam ter influenciado nesse resultado.

Por último, observa-se, nas Figuras 4.13 e 3.3, que as médias térmicas de temperatura da água do Reservatório foram menores nos primeiros pontos amostrais (a jusante); entretanto, nos demais pontos (a montante), essas médias de temperatura da água foram maiores. Fato que certamente está relacionado com a hora do dia, pois as coletas dos primeiros pontos amostrais ocorreram no horário da manhã, enquanto que as coletas dos demais pontos amostrais realizaram-se no final da manhã e na parte da tarde.

Verifica-se, na Figura 4.14 e na Tabela 4.7, que a condutividade elétrica apresentou baixo e elevado valor médio, respectivamente para a primeira (20/10/2005) e segunda (18/11/2005) coletas de campo (entre 30 a 35 μ S/cm); e, para a sétima (25/03/2006), oitava (20/04/2006) e nona (16/05/2006) coletas de campo (entre 42 a 50 μ S/cm). Provavelmente, esse resultado ocorreu por essa variável ter sofrido influência da maior ou menor concentração de índices pluviométricos correspondente a 26 e 7 dias anteriores à realização das coletas de campo (Figura 4.8). Nesse caso, levou-se em conta que os valores da condutividade elétrica são inversamente proporcionais aos valores do índice pluviométrico. Entretanto, para a terceira, quarta, quinta, sexta, décima, décima primeira, décima segunda e décima terceira coletas de campo, a condutividade elétrica apresentou médios valores (entre 35 a 40 μ S/cm). Possivelmente, esse resultado foi influenciado pelos médios índices pluviométricos ocorridos a 26 e 7 dias anteriores à realização das coletas de campo (Figura 4.8).

Observa-se, na Figura 4.14, que, em todas as coletas de campo realizadas, a variância dos valores da condutividade elétrica, manteve-se homogênea em todos os pontos amostrais, exceto nos pontos de coleta 6 e 7, da quinta coleta de campo (01/02/2006), e no ponto de coleta 19, da quarta (06/01/2006), décima (14/06/2006) e décima primeira (07/07/2006) coletas de campo, que apresentaram maior variância. Provavelmente isso aconteceu por influência de sedimentos depositados no fundo do Reservatório, pois nesse local os compartimentos aquáticos apresentam baixa profundidade (Figura 4.7); ou então por alguma ação antrópica realizada nas respectivas sub-bacias que ligam os pontos amostrais 6, 7 e 19.

Visualiza-se, na Figura 4.15, que o TDS apresentou baixo valor médio (entre 14 a 17mg/L), na primeira (20/10/2005), segunda (18/11/2005) e terceira (14/12/2005) coletas de campo; e elevado valor médio (entre 20 a 24mg/L), na sétima (25/03/2006), oitava (20/04/2006) e nona (16/05/2006) coletas de campo, respectivamente, por influência de maior e menor valor de índices pluviométricos correspondente a 26 e 7 dias anteriores à realização das coletas de campo (Figura 4.8). Entretanto, nas demais coletas de campo, o TDS apresentou médios valores (entre 18 a 20mg/L).

Observa-se, na Figura 4.15, que o TDS apresentou variância constante na maioria das coletas de campo e em seus pontos amostrais; porém, nos pontos de coleta 6 e 7, da quinta coleta de campo (01/02/2006) e no ponto de coleta 19, da décima (14/06/2006) e décima primeira (07/07/2006) coletas de campo, apresentaram maior variância de TDS que os demais pontos de coleta. Infere-se que, possivelmente, ocorreu esse resultado devido à influência de

sedimentos do fundo do Reservatório, por serem compartimentos aquáticos de baixa profundidade (Figura 4.7).

Percebe-se, nas Figuras 4.16 e 4.8, que da primeira até a quinta coleta de campo, o valor do pH da água do Reservatório oscilou entre 7,0 a 8,3 (alcalino), provavelmente, sofreu influência de índices pluviométricos a 26 dias anteriores às coletas de campo; a partir da sexta até a décima terceira coleta de campo, o valor do pH oscilou entre 6,0 a 7,0 (ácido), inferindo-se que deva ter sido influenciado, preferencialmente, pelos ciclos agrícolas da soja, da entressafra e do trigo. Assim, apesar de valores distintos do pH da água do Reservatório, representados entre esses dois conjuntos de coletas de campo e respectivos pontos amostrais, oscilando entre 6,0 a 8,3, estão de acordo com resoluções estabelecidas pelo CONAMA (1985/2002), pH entre 6,0 a 9,5 para água de consumo do homem e dos animais.

Na Figura 4.16 e na Tabela 4.8, observa-se que a variância do pH da água do Reservatório apresentou certa homogeneidade nas coletas de campo. Porém, visualizando também as Figuras 3.3 e 4.2, percebe-se que os pontos amostrais 6, 7, 8, 14 e 15, em algumas coletas de campo, apresentaram variância no pH da água do Reservatório. Supostamente, o principal fator que contribuiu para a maior variância do pH, nesses pontos amostrais, foi a classe pecuária, que vem se desenvolvendo em período permanente nessa área do entorno do Reservatório, como também por se localizarem numa área de contribuição direta.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visando uma abordagem integrada dos ecossistemas terrestre e aquático e tendo como foco os recursos hídricos, identificou-se a relação existente entre as características limnológicas do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS e o ecossistema terrestre, de acordo com o uso da terra e as características físicas da área de captação do Reservatório.

A respeito das características do relevo da área de estudo, verificou-se, através do mapa de declividade, das cartas topográficas e de imagens de satélite, que as feições do relevo se apresentam pouco dissecadas, com destaque para a forma plana, que representa aproximadamente 46% da área. A partir dessa constatação e dos dados obtidos do modelado, pode-se dizer que a área de captação do Reservatório apresenta condições favoráveis aos diversos tipos de uso da terra, inclusive, à agricultura.

Analisando-se os dados de uso da terra na área de captação das sub-bacias hidrográficas do Reservatório, percebeu-se que, quanto às percentagens nos ciclos agrícolas, predominam, respectivamente, agricultura, campo, solo exposto e floresta. A classe agricultura apresentou maior área de produção para o período dos ciclos da soja e do trigo, pois esses dois produtos agrícolas são utilizados de forma comercial, necessitando de grande produção. A classe campo ocupou maior área de produção para o período dos ciclos entressafra e do trigo, visto que, nesse período (entre maio a agosto), pela ação de médias térmicas baixas, há necessidade de aumentar o cultivo de pastagens para pecuária. Para a classe floresta, constatou-se que essa classe apresenta a mesma área distribuída pelos quatro ciclos agrícolas, devido à maior porção de área se referir às APP. Por esse motivo, verificou-se que a vegetação arbórea localiza-se na maioria na faixa marginal dos rios das sub-bacias de captação do Reservatório e, em menor proporção, no entorno das nascentes e do Reservatório, sendo assim maior representada por mata ciliar ou galeria.

Em relação às APP, à luz da legislação ambiental federal vigente: o Código Florestal Brasileiro (1965) e o CONAMA (1985/2002), identificou-se que a área de captação do Reservatório apresenta mais de 72% das APP com conflitos ambientais. Assim, confirmou-se que essa área (APP) está sendo explorada por duas classes de uso da terra, campo e agricultura, e que, embora com diferença pouco expressiva, a classe campo representa uma

maior área. A relação do percentual existente entre campo natural e pastagem não foi identificada.

Através de dados extraídos das cartas topográficas e de imagens de satélites, é possível afirmar que existe relação direta entre as oito sub-bacias hidrográficas da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva e os oito respectivos compartimentos aquáticos do Reservatório.

Em relação às variáveis limnológicas coletadas e diagnosticadas no Reservatório, pode-se dizer que elas apresentaram características diferenciadas entre as coletas de campo e a localização nos pontos amostrais. As diferenças mais expressivas ocorreram nas variáveis total de sólidos em suspensão (TSS), transparência da água e potencial Hidrogeniônico (pH). Sendo assim, pode-se inferir que os maiores valores de TSS da água do Reservatório foram encontrados na primeira (20/10/2005), segunda (18/11/2005), quarta (06/01/2006), sétima (25/03/2006) e décima terceira (26/09/2006) coletas de campo, provavelmente por esse período ter sofrido a influência de uso da terra, uma vez que se fazia presente o ciclo de solo exposto (exceto para a quarta e sétima coletas de campo) somado com a ocorrência de elevados índices pluviométricos a 26 e/ou 7 dias anteriores à realização das coletas de campo (principalmente para a primeira coleta), ocasionando maior aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos carregado para o Reservatório (Figura 4.8). Dessa forma, constatou-se que os dados de transparência da água do Reservatório foram relativamente inversos a esses resultados encontrados no TSS, confirmando a sua relação. Assim, observou-se que as maiores influências nessas variáveis ocorrem no período de setembro a novembro, quando há uma maior contribuição do ecossistema terrestre em função do maior volume de índices pluviométricos e da disponibilidade de solo exposto na área de captação das sub-bacias hidrográficas. Essa interferência passa a ser menor, no período de dezembro a agosto, quando os índices de chuvas são menores e a presença de solo exposto também é menor (período de plantio e crescimento vegetativo dos ciclos agrícolas da soja e do trigo).

Constatou-se que, no setor montante do Reservatório, os valores apresentados pelas variáveis limnológicas foram um pouco mais elevados que a jusante. Certamente, esse resultado derivou do fato de as maiores sub-bacias hidrográficas estarem localizadas no tributário principal do Reservatório, então a quantidade de material particulado disponibilizado foi maior no setor montante. Logo, aparece no local um compartimento aquático com maiores concentrações de TSS e, conseqüentemente, menores valores de transparência. Esse processo foi favorecido no período em que ocorreu o ciclo de solo exposto (preparo do solo para plantio), facilitando a erosão pluvial nas vertentes, carregando aporte de

partículas e/ou nutrientes (TSS) para as áreas mais baixas, no caso para o Reservatório. Parte desse material é depositado até atingir o setor jusante do Reservatório, formando outro compartimento aquático (jusante) com menores concentrações.

Apesar das diferenças encontradas no valor médio do pH entre dois grupos distintos de coletas de campo, isto é, da primeira à quinta coleta, o valor de pH oscilou entre 7,0 a 8,3 (alcalino); no entanto, a partir da sexta coleta de campo até a décima terceira, o valor de pH variou entre 6,0 a 7,0 (ácido). Desse modo, constatou-se que, em todos os pontos amostrais e coletas de campo, as concentrações de pH (6,0 a 8,3) apresentadas na água do Reservatório estão de acordo com resoluções estabelecidas pelo CONAMA (1985/2002), ficando entre 6,0 a 9,5 para água de consumo humano e dos animais.

A análise integrada dos ecossistemas terrestre e aquático, através de tecnologias da cartografia, sensoriamento remoto e GPS e das variáveis limnológicas, permitiram identificar características importantes que ocorrem na área de captação e na água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS, ou seja, o uso inadequado da terra em função da rede de drenagem, consoante as APP, e a pequena representação das florestas diante da sobrecarga de exploração das classes de uso da terra, campo e agricultura, aliadas aos elevados índices pluviométricos, causaram conflitos ambientais, determinaram alterações nas variáveis limnológicas (principalmente no TSS e na transparência da água do Reservatório) e, devido a isso, vem gerando problemas nos ambientes terrestre e aquático da área de estudo.

Portanto, após a quantificação e análise integrada dos dados, constatou-se que, apesar de o uso da terra ser um dos mais expressivos, não é o único fator que contribuiu para alterações ocorridas às variáveis limnológicas. Desse modo, esses dados foram analisados conjuntamente com os índices pluviométricos e o período da coleta das amostras, pois no período em que o solo apresentou-se exposto e/ou que ocorreu maior índice de chuvas, a vulnerabilidade e a influência do ambiente terrestre sobre o aquático foi maior por ter apresentado maior facilidade de escoamento superficial ou carreamento do aporte de partículas e/ou nutrientes sólidos para o ecossistema aquático.

Diante do exposto nesse trabalho, recomenda-se que os órgãos públicos locais, regionais e federais, em conjunto com a CORSAN - RS, e em consonância com a legislação ambiental federal, busquem a melhor estratégia (políticas públicas), na tentativa de solucionar ou pelo menos amenizar os problemas ambientais que vêm ocorrendo nos ecossistemas terrestre e aquático da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, como erosão do solo e assoreamento dos rios e do próprio Reservatório. Além disso, é importante que sejam criadas medidas voltadas ao retrocesso, mesmo que lento e gradual, das áreas com

conflitos ambientais, para que as APP da área de captação do Reservatório possam ser restabelecidas.

Quanto à consciência de preservação do espaço sustentável, recomenda-se que devem ser unidos esforços dos poderes políticos, dos órgãos públicos e privados, de ONGs, da comunidade mundial e, em especial, das instituições de estudo e pesquisa, com a finalidade de desenvolverem-se múltiplos projetos, micros e macros, voltados à proteção e preservação dos ecossistemas terrestre e aquático, através do manejo integrado de bacias hidrográficas; desse modo, incentivando e custeando a utilização de tecnologias como geoprocessamento, SIG, sensoriamento remoto e GPS, ou seja, geotecnologias em prol de monitoramento, tanto dos ambientes local e regional quanto global.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998.

AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Icone, 1990.

BRANCO, S. M. **O meio ambiente em debate**. São Paulo: Moderna, 1997.

_____. **Água: origem, uso e preservação**. São Paulo: Moderna, 2003.

BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. **Poluição, proteção e usos múltiplos de represas**. São Paulo: Edgard Blücher, CETESB, 1977.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. IBAMA. **Código Florestal Brasileiro**. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Brasília, DF, 1965. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>>. Acesso em: 10 out. 2005.

BRITO, J. L. S. **Adequação das potencialidades do uso da terra na Bacia do ribeirão Bom Jardim no Triângulo Mineiro (MG): ensaio de geoprocessamento**. 2001. 184 f. Tese (Doutoramento em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998.

CÂMARA, G. ; MEDEIROS, J. S. de. Mapas e suas representações computacionais. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998. p. 31-46.

CHRISTOFOLETTI, A. **A análise de sistemas em geografia**. São Paulo: Hucitec, 1980.

_____. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1988.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. São Paulo: FGV, 1998.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil). **Resolução nº 004, de 18 de setembro de 1985**. Disponível em: <<http://www.lei.adv.br/conama01.htm>>. Acesso em: 10 out. 2005.

CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento. **Barragem Rodolfo Costa e Silva (Val de Serra). Sistema de Abastecimento de Água de Santa Maria.** (Características técnicas). Santa Maria: SURCEN, 2007. (Dados não publicados).

CORSAN/SURCEN. **Nível da Barragem Rodolfo Costa e Silva.** (Planilha). Santa Maria: SURCEN, 2007. (Dados não publicados).

COSTA, F. A. da. **Aplicação de geoprocessamento na análise e modelagem ambiental na microbacia do arroio Passo do Pilão:** estudo de adequação do uso da terra relacionado aos sistemas agrícolas. 2000. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CURRAN, P. J.; NOVO, E. M. M. **The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance:** a review. *Journal of Coastal Research*, Charlottesville, v. 4, n. 9. p. 351-368, out. 1988.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de limnologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FIBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Brasil). **População brasileira 2007.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/online/popclock.php>>. Acesso em: 03 mar. 2007.

FUCHS, R. B. H. **Zoneamento ambiental da bacia do arroio Arenal - RS.** 2002. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

GIANSANTI, R. **O desafio do desenvolvimento sustentável.** São Paulo: Atual, 1998.

GUERRA, A. J. T. **Dicionário geológico-geomorfológico.** 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. Degradação ambiental. In: **Geomorfologia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1996. p. 337-374.

_____. **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1996.

HENRY, R. **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos.** São Carlos: RIMA, 2003.

JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective.** New Jersey: Prentice-Hall, 2000.

KIMMEL, B. L.; LIND, O. T.; PAULSON, J. L. Reservoir primary production. In: Edited by K. W., B. L. Kimmel, and F. E. Payne. **Reservoir limnology: ecological perspectives.** New York: John Wiley and sons, 1990. p. 133-173.

KIRK, J. T. O. **Light & photosynthesis in aquatic ecosystems.** 2nd. ed. Inglaterra: Cambridge University Press, 1996.

LISBOA FILHO, J. Projeto de banco de dados para sistemas de informações geográficas. In: ESCOLA DE INFORMÁTICA RJ/ES, 2., 2002, Vitória. **Anais...** Vitória: FAESA, 2002. p. 109-145.

MAGNOLI, D. et al. **Cenário gaúcho**: representações históricas e geográficas. São Paulo: Moderna, 2001.

MARCHIORI, J. N. C.; NOAL FILHO, V. A. **Santa Maria**: relatos e impressões de viagem. Santa Maria: Editora da UFSM, 1997.

MARTINS, R. C.; VALÊNCIO, N. F. L. da S. **Uso e gestão dos recursos hídricos no Brasil**: desafios teóricos e político-institucionais. São Carlos: RIMA, 2003. v. 2.

MENESES, P. R.; NETTO, J. da S. M. (Org.). **Sensoriamento remoto**: reflectância dos alvos naturais. Brasília, DF: UNB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 262 p.

MILLIPORE. Glass fiber filters. Disponível em: <<http://www.millipore.com>>. Acesso em: 22 fev. 2006.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2005.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1998.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983.

PENTEADO-ORELLANA, M. M. Metodologia integrada no estudo do meio ambiente. **Geografia**, Rio Claro, v. 10, n. 20, p. 125-148, out. 1985.

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

PEREIRA FILHO, W.; GALVÃO, L. S. Relações entre reflectância espectral e concentração de sedimentos em suspensão no reservatório Passo Real, região Sul do Brasil. [CD-ROM]. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA, 8., 1997, Mérida. **Anais...** Mérida: SELPER, 1997.

PINTO, N. L. de S. et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

RAMOS, F. et al. **Engenharia hidráulica**. Rio de Janeiro: Ed. da UFRJ, 1989.

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

ROCHA, J. S. M. da. **Manual de projetos ambientais**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1997.

_____. **Educação ambiental técnica para os ensinos fundamental, médio e superior**. 2. ed. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1999.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

SARTÓRI, M. da G. B. **Clima e percepção**. 2000. 153 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

TRENTIN, M. A. **Mapeamento da paisagem com uso de geotecnologias no município de São Pedro das Missões, RS**. 2003. 91 f. Monografia (Especialização em Geociências) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS/São Paulo: EDUSP: ABRH, 1993. v. 4.

TUNDISI, J. G. et al. Limnologia de águas interiores. Impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil, capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999. p. 195-225.

UFSM. **Estrutura e apresentação de monografias, dissertações e teses: MDT**. 6. ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2005. 63 p.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R. dos. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998. p. 351-372.

VIEIRA, E. F.; RANGEL, S. R. S. **Geografia econômica do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Sagra, 1983. 163 p.

VILLELA, S. M.; MATOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Difel, 1978.

WACHHOLZ, F. **Compartimentação aquática do reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS, a partir de variáveis limnológicas e imagens orbitais**. 2007. 97 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.