

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

COMGRAD GEOGRAFIA

**RELAÇÃO ENTRE QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DA  
PCH BURICÁ E O USO DO SOLO NA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO**

Isabel Cristiane Rekowski

Porto Alegre

2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
COMGRAD GEOGRAFIA

**RELAÇÃO ENTRE QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DA  
PCH BURICÁ E O USO DO SOLO NA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO**

Isabel Cristiane Rekowski

**Orientador:**

Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer

**Comissão examinadora:**

Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli

Prof. Dr. Luis Alberto Basso

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel em  
Geografia, pela Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul

Porto Alegre  
Dezembro de 2011

Rekowsky, Isabel Cristiane

Relação entre a qualidade da água do reservatório da PCH Buricá e o uso do solo na Bacia de contribuição. / Isabel Cristiane Rekowsky - Porto Alegre : UFRGS, 2011.  
[75 f.] il.

Trabalho de Conclusão do Curso de Geografia. – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2011.

Orientação: Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer

1. Qualidade de água. 2. Uso e cobertura do solo. 3. Reservatório. 4. Gestão de recursos hídricos. I. Título.

---

Catalogação na Publicação  
Biblioteca Geociências - UFRGS  
Miriam Alves CRB10/1947

## Agradecimentos

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo ensino, pelas oportunidades de pesquisa, pela assistência estudantil (RUs, casa de estudante, bolsas).

Aos professores do Instituto de Geociências que através das aulas, saídas de campo, atividades de laboratório contribuíram para minha formação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela oferta de bolsas de pesquisa. E aos professores Rita M. Alves e Nelson Gruber que me orientaram.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior por oferecer a oportunidade de realização de intercâmbio acadêmico.

Ao Prof. Ulisses Bremer por aceitar me orientar e contribuir ao longo de dois semestres para a realização deste trabalho.

Aos professores participantes da banca Laurindo Guasselli e Luis Basso.

À Magliane Figueredo por intermediar o contato com Olavo Figueredo, da Cooperativa de Energia e Desenvolvimento Rural Entre Rios Ltda., que muito gentilmente forneceu os dados de monitoramento de qualidade da água.

Aos meus “co-orientadores” informais Frantiesca Cheiran, Carmen Rekowsky, Marcia dos Santos, Ricardo Hellmann, Juliana Ponticelli, Sidnei Agra, Ângela Costa, Ana Helfer e Sumirê Hinata que ao longo do semestre indicaram leituras, leram e comentaram meu TCC.

Aos amigos da Geografia pelo companheirismo e aprendizagem nas saídas de campo, trabalhos em grupos, conversas nos corredores.

Aos amigos da CEUFRGS, que mesmo após sair da casa de estudantes continuam presentes. Às colegas de quarto Tamae Hamanaka, Vanize Mackedanz pela paciência.

À Tássia Kastner e Pâmela Kornalewski pela amizade e por compartilharem suas casas comigo quando precisei de um teto.

Às historiadoras Caroline Baseggio e Angélica Medeiros, colegas de 2005 e amigas desde então, sempre dispostas a me ouvir e a me ajudar.

Aos colegas de estágio da Geotec, da Neocorp, da Geocenter e da Ecoplan com quem muito aprendi e continuo aprendendo.

À minha mãe Neusa, ao meu pai Irineu (*in memorian*) e à minha irmã Luci por terem me incentivado a estudar e a buscar novas oportunidades; pelo carinho e presença, mesmo estando longe geograficamente.

E aos meus tios e primos que sempre estiveram próximos me incentivando de diversas formas.

## **Resumo**

Atualmente a deterioração da qualidade da água é um problema comum e pode estar relacionada tanto a fontes pontuais quanto a fontes difusas. A situação é ainda pior em reservatórios, uma vez que esses sistemas apresentam uma mudança de ambiente, passando de lótico para lêntico; essa mudança reduz a velocidade da água e aumenta o tempo de residência no local, diminuindo a capacidade de depuração do corpo d'água. Este estudo tem como objetivo analisar a possível relação entre o uso do solo na bacia de contribuição e a qualidade da água no reservatório da PCH Buricá, localizada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Este reservatório foi escolhido, por estar em operação há mais de uma década e por possuir análises dos parâmetros de qualidade da água disponíveis desde a instalação. Neste estudo foram utilizados dados limnológicos fornecidos pela CERTHIL, cooperativa responsável pela PCH, e que são enviados periodicamente à FEPAM; mapa de uso do solo, obtido a partir da classificação de imagens Landsat TM; e, dados agropecuários e de população obtidos junto a órgãos públicos. Os resultados mostraram que a bacia de contribuição é majoritariamente agrícola, dessa forma, a maior carga de poluentes corresponde a fontes difusas. Quanto aos dados de qualidade da água, os parâmetros foram analisados de acordo com a legislação vigente e inseridos nas classes correspondentes. Ao analisar as variações dos parâmetros de qualidade da água, observa-se que estes apresentaram tendências diferenciadas, sendo que os valores de condutividade elétrica, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio e nitrato apresentaram tendência a redução; o oxigênio dissolvido apresentou tendência de aumento em dois dos três locais analisados; enquanto, fósforo, e pH apresentaram tendência de aumento. Além disso, devido aos elevados valores de fósforo ocorridos em algumas amostras, o reservatório apresentou elevado potencial de eutrofização.

Palavras - chave: qualidade de água, uso e cobertura do solo, reservatório, gestão de recursos hídricos.

## **Abstract**

Nowadays the water quality deterioration is a common problem and it is related to pollution input from point and nonpoint sources. The situation becomes worse in reservoirs because in these systems the environment change, from lotic to lentic, reduces the water speed and increases the time that water stay in a local, reducing the natural depuration capacity of the water body. This study aims to analyze the possible connexion between the land use in the contribution basin and the water quality in the Buricá reservoir. The Buricá dam is located in the northwest of Rio Grande do Sul, this reservoir was selected because it was built more than a decade ago and, since then, many limnologycal data are available. The data used to carry out the study included limnologycal variable measurements provided by CERTHIL (the dam owner), these data are the same that the cooperative send periodically to the State Environment Foundation (FEPAM); land use and land cover data, derived from interpretation of Landsat TM satellite images; and, population and agricultural data provided by public agencies. The results showed that the land use in the contribution basin is mainly agricultural, and probably most of the pollution is related to nonpoint sources. In the other hand, the limnologycal data were analyzed according to environmental regulation, and inserted in the corresponding classes, based on CONAMA 357/2005. From 1999 to 2011 the specified parameters presented different trends: reduction in electric conductivity, turbidity, biochemical oxygen demand, and nitrate; increase in phosphorus, and pH; increase in dissolved oxygen in two points and reduction in one. Because the phosphorus high values occurred in some analyses, the conclusion is that the reservoir has a high eutrophication potential.

Keywords: water quality, land use and lad cover, reservoir, water resources management.

# **Lista de Abreviaturas**

---

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CERTHIL – Cooperativa de Energia e Desenvolvimento Rural Entre Rios Ltda.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CGH – Central Geradora Hidrelétrica

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

DSG – Diretoria de Serviço Geográfico do Exército

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Luiz Roessler

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IET – Índice de Estado Trófico

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

kW - kilowatt

L – Litro

N – Nitrogênio

NO<sub>3</sub> - Nitrato

NTU - Unidade Nefelométrica de Turbidez

OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OD – Oxigênio Dissolvido

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

pH - Potencial Hidrogeniônico

PT - Fósforo

SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente

SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SIN – Sistema Interligado Nacional

SNGRH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*

TM - *Thematic Mapper*

U30 – Unidade Hidrográfica Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo

UHE – Usina Hidrelétrica

UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez

UTM – Universal Transversa de Mercator

VPM – Valor Permitido Máximo

# Sumário

---

Agradecimentos .....	III
Resumo .....	IV
Abstract .....	V
Lista de abreviaturas .....	VI
Sumário .....	VIII
Lista de Figuras .....	IX
Lista de Quadros .....	X
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 Considerações iniciais .....	11
1.2 Localização da área de estudo .....	12
1.3. Objetivos .....	15
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
2.1. A gestão de recursos hídricos no Brasil.....	16
2.2. O ambiente aquático .....	17
2.3. Qualidade da água: parâmetros e classificação .....	20
2.4. Fontes de poluição e eutrofização .....	24
2.5. Aproveitamentos Hidrelétricos .....	29
2.6. Geoprocessamento como ferramenta de apoio em análise ambiental .....	31
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>
3.1. Metodologia .....	34
3.1.1 Etapa A, Levantamento de dados .....	34
3.1.2 Etapa B, Processamento dos dados .....	38
3.1.3 Etapa C, Análise dos dados .....	41
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>43</b>
4.1 Uso e ocupação do solo na bacia de contribuição.....	43
4.2 Qualidade da água.....	52
4.2 Potencial de eutrofização no reservatório .....	66
4.3 Possíveis influências do uso do solo na qualidade das águas do reservatório	68
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>72</b>

# **Lista de Figuras**

---

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo (Elaborado pela autora) .....	13
Figura 2: Imagem do reservatório (Google Earth).....	14
Figura 3: Ciclo hidrológico (XAVIER, 2005).....	18
Figura 4: Classes de águas doces (MEZOMO, 2009).....	24
Figura 5: Processo de eutrofização (Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, 2011) .....	26
Figura 6: Localização dos pontos de coleta de água (Fonte: Certhil, 2011).....	35
Figura 7: Unidades fitogeográficas na U30 (Adaptado de FEPAM, 2004).....	43
Figura 8: Mapa de uso e ocupação do solo 1998.....	45
Figura 9: Mapa de uso e ocupação do solo 2010.....	46
Figura 10: População na bacia de contribuição, por local de residência – 2000. (IBGE, Censo 2000). ....	48
Figura 11: População na bacia de contribuição, por local de residência – 2010. (IBGE, Censo 2010).....	49
Figura 12: Variação da área plantada com os três principais cultivos temporários (IBGE, SIDRA 2011). .....	50
Figura 13: Área plantada com os três principais cultivos temporários em 2009 (IBGE, SIDRA 2011). .....	51
Figura 14: Principais rebanhos (IBGE, SIDRA 2011). ....	51
Figura 15: Gráfico com os valores de condutividade elétrica.....	57
Figura 16: Gráfico de tendência da condutividade elétrica.....	58
Figura 17: Gráfico com os valores de turbidez.....	59
Figura 18: Gráfico de tendência da turbidez.....	59
Figura 19: Gráfico com os valores de pH.....	60
Figura 20: Gráfico de tendência do pH.....	60
Figura 21: Gráfico com os valores de Oxigênio Dissolvido.....	61
Figura 22: Gráfico de tendência do Oxigênio Dissolvido.....	62
Figura 23: Gráfico com os valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	63
Figura 24: Gráfico de tendência da Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	63
Figura 25: Gráfico com os valores de Nitrato.....	64
Figura 26: Gráfico de tendência de Nitrato.....	65
Figura 27: Gráfico com os valores de Fósforo.....	66
Figura 28: Gráfico de tendência de Fósforo.....	66

# **Lista de Quadros**

---

Quadro 1: Centrais de Geração de Energia Hidrelétrica (Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2011) .....	14
Quadro 2: Classes de estado trófico (ANA, 2009b).....	28
Quadro 3: Empreendimentos hidrelétricos na U30 (ANEEL, 2011).....	30
Quadro 4: Cenas Landsat 5 TM utilizadas no estudo.....	36
Quadro 5: Cartas topográficas na área de estudo.....	37
Quadro 6: Classes de qualidade da água (CONAMA, 2005).....	41
Quadro 7: Contribuições unitárias de fósforo típicas (VON SPERLING, 2005).....	41
Quadro 8: Áreas e porcentuais das classes de uso do solo.....	44
Quadro 9: População estimada na bacia de contribuição (IBGE, Censos 2000/2010).....	47
Quadro 10: Porcentual do município na área de estudo. ....	48
Quadro 11: Utilização terras nos municípios inseridos na bacia. (IBGE, Censo Agropecuário 2006b). ....	50
Quadro 12: Dados de qualidade da água em P1 (Certhil, 1999 a 2011).....	53
Quadro 13: Dados de qualidade da água em P2 (Certhil, 1999 a 2011).....	55
Quadro 14: Dados de qualidade da água em P3 (Certhil, 1999 a 2011).....	56
Quadro 15: Potencial de eutrofização do reservatório.....	67
Quadro 16: Estimativa das contribuições de fósforo, por atividade, na bacia de contribuição. ....	68

# ***1. INTRODUÇÃO***

---

## **1.1 Considerações iniciais**

A água é a substância mais abundante do planeta, cobrindo cerca de 77% da superfície (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006), contudo, um valor bastante reduzido está disponível para uso antrópico. Isso ocorre, pois a maior parte da água do planeta (97,5%) corresponde a oceanos e mares e, boa parte dos 2,5% restantes está na forma sólida (geleiras, neve). Apenas 0,3% da água doce efetivamente disponível para consumo humano encontra-se em rios e lagos (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006).

A manutenção da disponibilidade de água em condições ideais para consumo é essencial para a existência de qualquer tipo de vida no planeta. Seu uso indiscriminado e, em muitos casos, irresponsável, levou a mesma a se tornar escassa em diversos locais, bem como, vem ocasionando sérios problemas ambientais, sociais e econômicos.

Segundo Rebouças, Braga e Tundisi (2006), no Brasil os principais problemas de abastecimento decorrem, fundamentalmente, da combinação de crescimento exagerado das demandas localizadas e da degradação da qualidade das águas. Essas demandas estão relacionadas a diversos usos, sendo que os principais são: consumo humano, abastecimento doméstico, abastecimento industrial, irrigação, dessedentação de animais, preservação da flora e da fauna, recreação e lazer, geração de energia elétrica, navegação, harmonia paisagística, diluição e transporte de dejetos (VON SPERLING, 2005).

Atualmente a legislação brasileira regula ações buscando a manutenção da qualidade da água para os diversos fins. Neste sentido tem-se uma preocupação quanto à qualidade da água em reservatórios artificiais, pois, de acordo com Prado (2004), o Brasil é um país cujo potencial hídrico é favorável à implantação de reservatórios, sendo estes amplamente utilizados para suprir as necessidades de abastecimento de água, irrigação e fornecimento de energia elétrica, dentre outras.

A formação de lago do reservatório através da construção de barragem causa uma mudança no tipo de ambiente, esta intervenção modifica a velocidade e o tempo de permanência da água em determinado local, interferindo na capacidade

natural de depuração do curso d'água e na capacidade de armazenamento de materiais orgânicos e inorgânicos provenientes da bacia de contribuição.

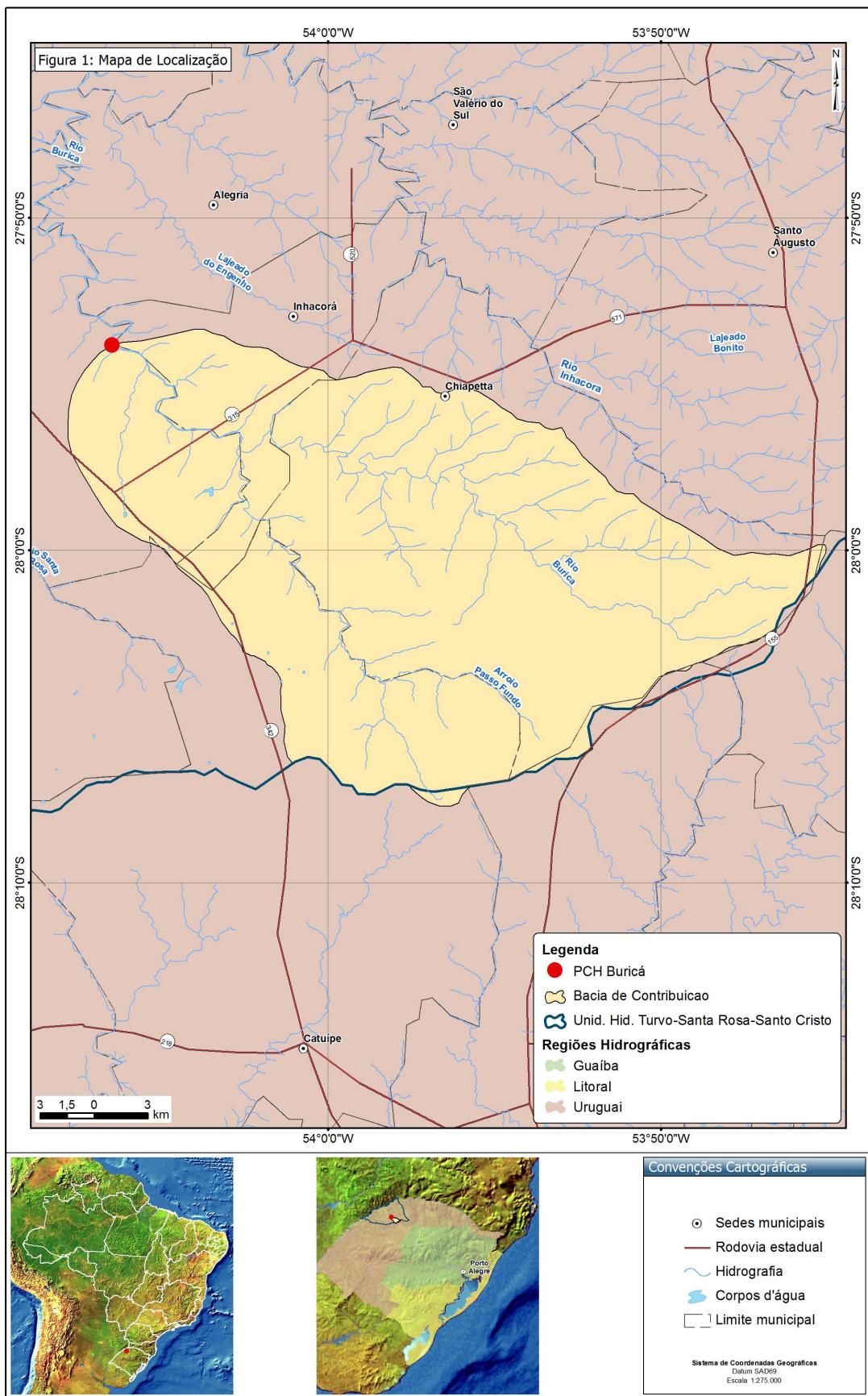
De acordo com Zuffo, Santos e Dias (2002), a avaliação da qualidade das águas na gestão dos recursos hídricos é imprescindível e, geralmente, baseia-se em parâmetros físico-químicos e biológicos recomendados em documentos legais de ordem federal e estadual. Contudo, se a gestão pretende ter um enfoque ambiental, é necessária uma análise do espaço onde as águas se inserem buscando interpretar as relações entre os elementos que compõem o meio.

Considerando que o tipo de sedimento recebido pelo reservatório está diretamente relacionado ao uso do solo da bacia de contribuição, este estudo busca analisar a qualidade da água do reservatório da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Buricá, localizada no noroeste do Rio Grande do Sul, bem como, os fatores que podem influenciar na qualidade da água deste reservatório. Para tanto, serão utilizados dados do monitoramento do barramento visando relacionar as características da água com o uso do solo na bacia de contribuição e verificar se as medidas propostas durante o licenciamento ambiental do empreendimento estão sendo eficientes a ponto de garantir que a água do reservatório tenha qualidade mínima para proporcionar os usos múltiplos como previsto na Lei.

## **1.2 Localização da área de estudo**

A PCH Buricá está localizada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, na divisa dos municípios de Inhacorá e Independência. A bacia de contribuição do lago da usina abrange também parte dos municípios de Chiapeta, Catuípe, Ijuí e Nova Ramada (Figura 1).

Essa hidrelétrica está instalada no rio Buricá, um dos tributários do Rio Uruguai, localizado na Unidade hidrográfica Turvo - Santa Rosa - Santo Cristo (U30), sendo que a bacia de contribuição do reservatório possui uma área de 539,51 km<sup>2</sup>.



**Figura 1: Mapa de localização da área de estudo (Elaborado pela autora).**

O rio Uruguai, com 1.770 km de extensão (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - FEPAM, 2004), é amplamente utilizado na geração de energia, sendo a região hidrográfica que possui o maior número de empreendimentos hidrelétricos<sup>1</sup> no Estado (Quadro 1).

Região hidrográfica	Central Geradora Hidrelétrica	Pequena Central Hidrelétrica	Usina Hidrelétrica
Guaíba	17	93	13
Litoral	0	2	0
Uruguai	25	127	10

**Quadro 1: Centrais de Geração de Energia Hidrelétrica (Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2011).**

A barragem está localizada na latitude: -27°53'48", longitude -54°06'26", começou a ser construída em 1994 e passou a operar cinco anos depois, em abril de 2009.



**Figura 2: Imagem do reservatório (Google Earth).**

---

<sup>1</sup> Nesta base estão incluídos empreendimentos em operação, em construção, outorgados, inventariados, com plano básico aprovado, com plano básico aceito e com plano básico registrado.

### **1.3. Objetivos**

Este trabalho tem como **objetivo geral** analisar a relação entre uso do solo na bacia de contribuição e qualidade da água em um reservatório artificial destinado à geração de energia elétrica.

#### **Objetivos específicos**

- elaborar mapa temático de uso do solo na bacia de contribuição, mediante classificação de imagem de satélite;
- analisar a qualidade da água do reservatório;
- classificar os resultados das análises de qualidade de acordo com a resolução do CONAMA 357/2005;
- avaliar o potencial de eutrofização do reservatório;
- verificar a possível relação entre a situação da água no reservatório e os tipos de uso do solo predominantes na bacia de contribuição.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

---

### **2.1. A gestão de recursos hídricos no Brasil**

De acordo com Campos (2001, *apud* MEZOMO, 2009) a gestão das águas é definida como o conjunto de procedimentos organizados, no sentido de solucionar problemas referentes ao uso e ao controle dos recursos hídricos, com o objetivo de atender, observando as limitações econômicas e ambientais e respeitando os princípios de justiça, a demanda de água pela sociedade, a partir de uma disponibilidade limitada.

Já Botelho e Silva (2004), afirmam que o objetivo da gestão é preservar e recuperar os recursos hídricos. Esta gestão cabe a um conjunto de órgãos e instituições que tem como responsabilidades e funções coordenar, arbitrar os conflitos, implementar a política, planejar, regular, controlar o uso, preservar e recuperar os recursos hídricos.

No que diz respeito aos instrumentos legais para a gestão dos recursos hídricos, o Decreto 24.643 de 10 de julho de 1934, conhecido como Código das Águas, foi o primeiro dispositivo legal a tratar do tema em âmbito nacional e versa sobre o aproveitamento industrial da água, define os tipos de água e critérios de aproveitamento dos recursos hídricos (MELO, LIMA e SILVA 2010). Este código estava voltado à ordenação e gestão quantitativa da água, sem preocupação com aspectos qualitativos. Mais de meio século depois da aprovação deste Código, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 20/1986 extrapola o âmbito quantitativo de gestão e passa a considerar a gestão voltada à manutenção da qualidade das águas. Em 2005, a Resolução CONAMA 357/2005 revoga a Resolução CONAMA 20/1986, de acordo com a resolução vigente as águas são classificadas em doces, salobras e salinas, bem como, são definidos os padrões de qualidade de cada classe de acordo com seus usos preponderantes. O enquadramento nessas classes é feito nos níveis de qualidade que os corpos de água deveriam ter para garantir os usos a que se pretende destiná-los, o que exige um controle de metas visando atingir, de modo gradual, os objetivos do enquadramento.

Em 1997, a Lei 9.433 institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). Segundo Mezomo (2009) o quadro nacional legal sofreu forte influência dos princípios de experiência francesa, principalmente no que se refere aos três pilares fundamentais: gestão em nível de bacias hidrográficas, caráter descentralizado e participativo e aplicação do princípio usuário-pagador.

Com relação à unidade territorial adotada para o gerenciamento dos recursos hídricos usa-se a bacia hidrográfica, definida por Silveira (1997, *apud* MEZOMO, 2009) como um conjunto de superfícies de vertentes e de uma rede de drenagem formadas por cursos d'água que confluem até resultar em um leito único no exutório. Já Botelho e Silva (2004) caracterizam a bacia hidrográfica, como o espaço onde se procura compatibilizar as diversidades demográficas, sociais, culturais e econômicas das regiões.

Dentre os fundamentos da Lei 9.433/97, dois estão diretamente relacionados ao desenvolvimento deste estudo:

IV - A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

Pelo princípio dos usos múltiplos, os recursos hídricos devem estar disponíveis para todas as categorias de usuários com igualdade de oportunidade (VILAS BOAS, 2011). Dessa forma, ao se implantar um reservatório para produção de energia elétrica, deve-se respeitar este princípio.

## **2.2. O ambiente aquático**

Todos os corpos de água estão interconectados através do ciclo hidrológico. Este ciclo é caracterizado por Tucci (2007) como o fenômeno de circulação fechada da água, entre a superfície e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre. De acordo com Tucci (2007) e Xavier (2005) as fases do ciclo hidrológico são:

**A – Precipitação:** comprehende toda a água que cai sobre a superfície terrestre. A forma mais comum de precipitação é a chuva, onde o vapor de água

acumulado na atmosfera forma gotículas e precipita na forma líquida; pode ocorrer também a formação de cristais de gelo e a precipitação se dar na forma de neve ou granizo. Na Figura 3, pode ser observada a representação do ciclo hidrológico, com seus processos principais e a mensuração em  $\text{km}^3$  ( $\times 10^3$ ) dos fluxos de evaporação, precipitação e drenagem.

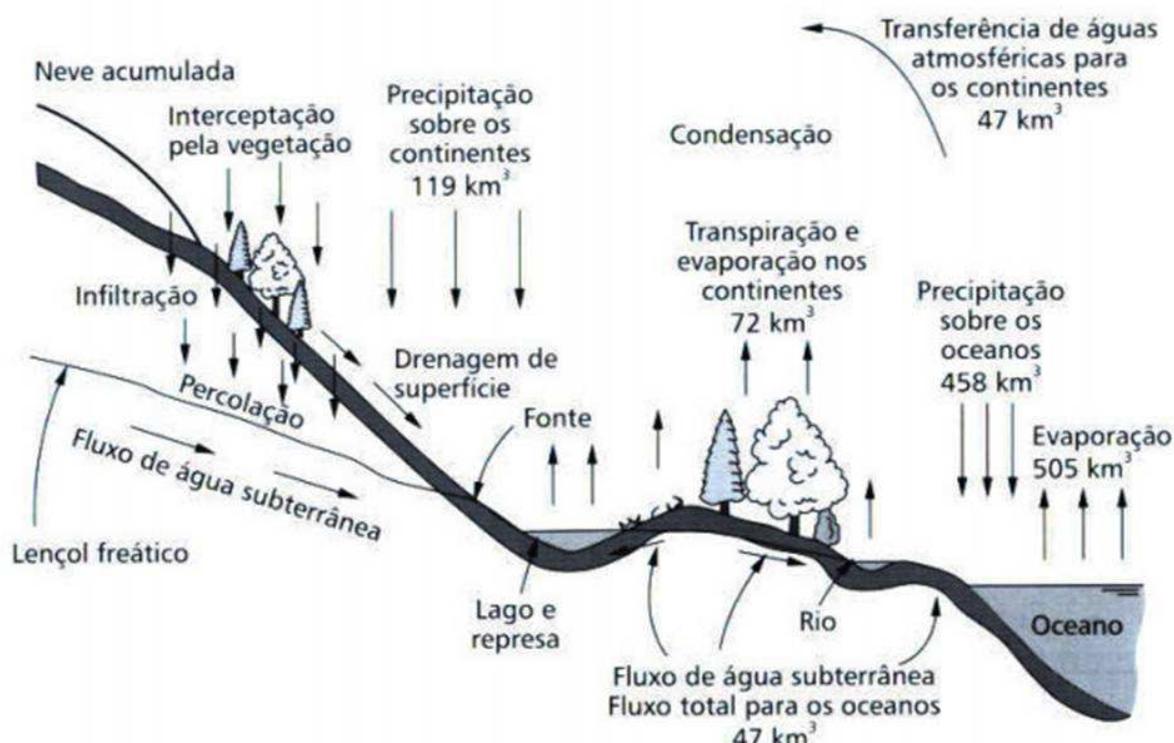


Figura 3: Ciclo hidrológico (XAVIER, 2005).

**B – Interceptação:** o volume precipitado, tanto de chuva quanto de neve, que cai sobre um solo com cobertura vegetal sofre interceptação das folhas e caules, de onde evapora; parte da água interceptada pode reprecipitar para o solo, por ação do vento e/ou da gravidade.

**C – Infiltração:** quando a água precipitada atinge um meio poroso, a mesma infiltra enquanto a superfície do solo não se satura. A água infiltrada é responsável por formar e alimentar reservas de água subterrânea que, por sua vez, fornecem água aos corpos de água superficiais durante períodos secos.

**D – Transpiração:** é o processo de “devolução” de água à atmosfera pelas plantas.

**E – Evaporação:** é o processo de passagem da água para o estado gasoso, que ocorre em qualquer tempo e em qualquer local por onde circula a água na superfície terrestre.

**F – Escoamento superficial:** corresponde ao deslocamento das águas na superfície da Terra, neste segmento são considerados os movimentos da água sobre o solo saturado de umidade ou impermeável que formam as enxurradas ou torrentes, córregos, rios, lagos ou reservatórios (PINTO, 2008).

Segundo Xavier (2005), os corpos d’água são caracterizados por três componentes principais: hidrologia, características físico-químicas e biológicas.

Quanto à hidrologia, a Resolução CONAMA nº 357 de 2005, Artigo 2, classifica como ambiente lêntico: aquele que se refere à água parada, com movimento lento ou estagnado; e, ambiente lótico: relativo a águas continentais moventes. Por sua vez, Xavier (2005) diferencia reservatórios artificiais, que seriam ambientes intermediários cujo comportamento e tempo de residência da água no local dependem tanto das características da bacia, quanto das decisões de quem gerencia o reservatório; de lagos naturais, caracterizados como ambientes cuja velocidade é pequena ou nenhuma, e cujo tempo de residência da água pode variar de poucas semanas a várias décadas.

Para Straskraba e Tundisi (2000, *apud* FIGUEIREDO, 2007) os reservatórios artificiais são sistemas semiabertos que sofrem influência do rio a montante, pois este transporta água, nutrientes, sedimentos e organismos para o reservatório. O reservatório em si é um coletor e digestor das entradas e dos efeitos existentes na bacia hidrográfica e que influencia e conecta-se ao rio a jusante de onde está localizado. Apesar desta conexão, o barramento de um rio para a formação de um reservatório representa um rompimento em relação ao gradiente longitudinal existente anteriormente no sistema lótico. Este rompimento é descrito por Standford e Ward (1995, *apud* FIGUEIREDO, 2007) através do “conceito de descontinuidade serial”, no qual os autores mencionam a ocorrência de mudanças nos padrões e nos processos bióticos e abióticos a montante e a jusante dos reservatórios.

## **2.3. Qualidade da água: parâmetros e classificação**

Prado (2004) destaca que o monitoramento da qualidade da água é um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de planejamento e gestão dos recursos hídricos. Isso ocorre, pois este tipo de monitoramento fornece a base para decisões de uso múltiplo e integrado dos recursos hídricos e a minimização de impactos ao meio ambiente, uma vez que possibilita avaliar conjuntamente as características da água com sua adequação aos usos previstos, ou à definição de projetos de recuperação de águas poluídas.

De acordo com Santos (2006, *apud* MEZOMO, 2009), a qualidade da água em um curso reflete, necessariamente, as atividades que são desenvolvidas em toda a bacia, sendo que cada um dos usos produz um efeito específico e característico. Segundo Mezomo (2009), um aspecto importante na avaliação da qualidade da água é acompanhar a sua tendência de evolução no tempo, o que possibilita a identificação de medidas preventivas e a eficiência das medidas adotadas. Para realizar este acompanhamento é necessário que sejam implementados programas de monitoramento, a fim de que se estabeleçam padrões de distribuição sazonais e espaciais para indicadores bióticos e abióticos.

A avaliação e a caracterização de um corpo de água podem ser feitas com base em uma gama de indicadores, por exemplo, pH, metais pesados, condutividade elétrica, nutrientes, temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), agrotóxicos, dentre outros. Mezomo (2009) destaca que a escolha dos indicadores a serem utilizados em determinado estudo depende do propósito do monitoramento a ser realizado, sendo escolhidos aqueles que apresentam maiores chances de sucesso na caracterização das mudanças que ocorrem na bacia.

Neste estudo foram utilizados os dados de qualidade da água do reservatório relativos ao programa de monitoramento da qualidade da água exigido pela FEPAM na licença de operação do mesmo, os parâmetros analisados semestralmente são:

- **Temperatura da amostra:** Parte da radiação solar que chega a superfície do lago é absorvida pela água. Segundo Esteves (2011), já no primeiro metro, 50 a 60% da radiação incidente são transformadas em calor. Esta

concentração da absorção na camada superior tenderia a levar a uma queda brusca de temperatura logo abaixo desta camada. No entanto, este fenômeno não ocorre, principalmente porque o vento promove a turbulência da água, o que produz a redistribuição do calor por toda a massa d'água. Caso o vento não seja suficiente para misturar a água com diferentes temperaturas, ocorre a estratificação térmica, ou seja, diferenças de temperaturas que geram camadas d'água com diferentes densidades, formando uma barreira física impedindo que se misturem. Prado (2004) afirma que a temperatura influencia a comunidade fitoplânctonica, além disso, ao interferir nos processos bioquímicos do sistema, a temperatura também se relaciona ao pH, à densidade, à taxa de oxigênio dissolvido.

- **Condutividade:** A condutividade elétrica de uma solução é a capacidade desta em conduzir corrente elétrica, esta capacidade é determinada pela concentração dos íons presentes na solução. Os íons que são mais diretamente responsáveis pelos valores da condutividade são os chamados macronutrientes (cálcio, magnésio, potássio, sódio, bicarbonato, sulfato, cloreto) e, a atividade iônica de uma solução é influenciada pela temperatura e pelo pH. As principais informações que podem ser obtidas pela variação dos valores de condutividade são: informações sobre magnitude da concentração iônica, processos de produção (redução dos valores de condutividade) e decomposição (aumento dos valores) nos ecossistemas aquáticos e detecção de fontes poluidoras nos ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 2011).
- **Turbidez:** a turbidez indica o grau de atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar a água. Esta atenuação ocorre pela absorção e espalhamento da luz causada pelos sólidos em suspensão (silte, argila, algas, etc.). As principais fontes de turbidez são a erosão dos solos, a mineração, o lançamento de esgotos e efluentes industriais (Agência Nacional de Águas - ANA, 2009a). A alta turbidez reduz a fotossíntese da vegetação submersa e algas, podendo suprimir a produtividade de peixes por falta de alimentos (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, 2009).
- **Potencial Hidrogeniônico (pH):** a basicidade ou acidez de uma solução é frequentemente expressa em termos de íons de  $H^+$  que é denominada pH. Em geral, os corpos d'água apresentam valores de pH entre 6 e 8,5, mas valores extremos podem ser encontrados em regiões com características peculiares, como

em lagos com altas concentrações de sais de carbono e bicarbonato ou sob influência da água do mar que apresenta elevados valores, normalmente acima de 9; existem também ecossistemas que apresentam pH ácido, com valores em torno de 5, como lagos localizados em solos ácidos, ou ecossistemas de águas escuras, ricos em substâncias húmicas (ESTEVES, 2011). Segundo Calijuri (1999, *apud* PRADO, 2004), os três grandes processos que influenciam nos valores de pH são a fotossíntese, a respiração e a assimilação de nitrogênio pelo fitoplâncton.

- **Nitrogênio:** o nitrogênio em solução é facilmente transportado, sendo o escoamento superficial o responsável pelo transporte de grande quantidade de N; além disso, a drenagem de solos adubados e o lançamento de efluentes domésticos e industriais não tratados ou parcialmente tratados podem proporcionar a elevação na concentração de nitrogênio e contribuir também para a eutrofização. O nitrogênio é essencial para o metabolismo e constituição celular (biomassa) por sua grande abundância em moléculas como proteínas, peptídeos e aminoácidos. Dessa forma, o N pode ser um limitante à produção primária de ecossistemas aquáticos se sua presença ocorrer em valores baixos (ESTEVES, 2011).
- **Fósforo:** as fontes naturais de fósforo estão relacionadas às rochas da bacia de drenagem. A liberação do fosfato ocorre através do intemperismo e este pode alcançar os ecossistemas aquáticos pelo escoamento superficial sob duas formas: solúvel e adsorvido às argilas; já as principais fontes artificiais de fosfato são esgotos domésticos e industriais. A importância do fósforo no metabolismo dos seres vivos está relacionada à participação deste elemento no armazenamento de energia, estruturação da membrana celular, transferência de informação genética e metabolismo celular. Juntamente com o nitrogênio, o fósforo pode regular a atividade primária e, é o principal elemento que favorece o processo de eutrofização (ESTEVES, 2011).
- **Oxigênio Dissolvido (OD):** dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio ( $O_2$ ) é um dos mais importantes na dinâmica e caracterização dos ecossistemas aquáticos. As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese; por outro lado, a redução da concentração  $O_2$  na água ocorre pela oxidação da matéria orgânica, perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos (ESTEVES, 2001). Além disso, a concentração de oxigênio é proporcional a temperatura da água. Quando a água

recebe determinada carga de matéria orgânica, parte do oxigênio dissolvido será utilizado na oxidação biológica da matéria orgânica introduzida, portanto, a concentração de OD em um curso d'água pode ser usada com um dos parâmetros de determinação da qualidade da água: quanto mais reduzida é a concentração de OD, mais poluído o curso d'água se encontra (PRADO, 2004).

- **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO):** A Demanda Bioquímica de Oxigênio representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água. A  $\text{DBO}_{5,20}$  é a quantidade de oxigênio consumido durante 5 dias em uma temperatura de 20°C. Valores altos de  $\text{DBO}_{5,20}$ , num corpo d'água são geralmente causados pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente esgotos domésticos. A ocorrência de altos valores deste parâmetro causa uma diminuição dos valores de oxigênio dissolvido na água, o que pode provocar mortandades de peixes e eliminação de outros organismos aquáticos (ANA, 2009a).

A Resolução nº 357/05 do CONAMA dispõe sobre a classificação dos corpos de água e as diretrizes para seu enquadramento. Nesta Resolução são definidas 13 classes de uso das águas, de acordo com o grau de salinidade (Figura 4) e os valores apresentados em diversos parâmetros.

<b>Classe</b>	<b>Tipo de uso</b>	
Classe Especial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- abastecimento para consumo humano, com desinfecção;</li> <li>- preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;</li> <li>- preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.</li> </ul>	MAIOR EXIGÊNCIA
Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;</li> <li>- proteção das comunidades aquáticas;</li> <li>- recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução Conama nº 274, de 2000;</li> <li>- irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de pelúcia;</li> <li>- proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.</li> </ul>	
Classe 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;</li> <li>- proteção das comunidades aquáticas;</li> <li>- recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução Conama nº 274, de 2000;</li> <li>- irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;</li> <li>- aquicultura e atividade de pesca.</li> </ul>	
Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;</li> <li>- irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;</li> <li>- pesca amadora;</li> <li>- recreação de contato secundário;</li> <li>- dessedentação de animais.</li> </ul>	
Classe 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- navegação;</li> <li>- harmonia paisagística;</li> </ul>	MENOR EXIGÊNCIA

Figura 4: Classes de águas doces (MEZOMO, 2009).

## 2.4. Fontes de poluição e eutrofização

De acordo com Setti (2000) durante o ciclo hidrológico, a água sofre alterações em sua qualidade. Isso ocorre nas condições naturais em razão das inter-relações dos componentes do sistema de meio ambiente, bem como pelas influências devido ao **uso do solo**, urbano e rural.

O ambiente aquático é sensível às interferências que ocorrem na bacia hidrográfica que o abastece, pois é caracterizado como escoadouro natural das

áreas de drenagens adjacentes. Dessa forma, as atividades antrópicas que geram efluentes, os quais, se não dispostos em locais adequados ou tratados, acabam por atingir os cursos d'água, alterando suas propriedades naturais (KIRA e SAZAMANI, 1995, *apud* PRADO, 2004).

Neste sentido, o levantamento do uso da terra é de grande importância ao se analisar a qualidade da água em uma bacia. Os efluentes provenientes de atividades antrópicas podem ser divididos em dois grupos:

**Fontes pontuais** normalmente são mais fáceis de serem identificadas e caracterizam-se, essencialmente, pelos efluentes domésticos e industriais.

**Fontes difusas** são caracterizadas por resíduos provindos da agricultura, do escoamento superficial urbano e dos pátios de indústrias (PRADO, 2004). Em uma bacia predominantemente agrícola, a poluição difusa pode ser intensificada devido à irrigação, à compactação do solo, ao desflorestamento, à ausência de práticas conservacionistas do solo e aos processos erosivos. Esta situação se agrava, uma vez que boa parte dos solos utilizados em práticas agrícolas é afetada por poluentes que, com o escoamento, acabam atingindo os cursos de água.

Quando se refere à qualidade das águas em reservatórios, Prado (2004) destaca que além do aporte de poluentes provindos da bacia de contribuição, deve-se considerar a redução da capacidade de depuração do corpo d'água, o aumento da capacidade de retenção de sedimentos e nutrientes e a alteração das características físicas, químicas e biológicas do sistema. Devido a estes fatores, há um incremento no processo de eutrofização do reservatório que, dependendo do nível atingido, poderá comprometer os usos múltiplos a que o reservatório é destinado.

Segundo Vollenweider e Kerekes (1981, *apud* PRADO, 2004) a **eutrofização** é uma resposta a um enriquecimento do corpo hídrico por nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, que pode ocorrer sob condições naturais ou artificiais. Este incremento de nutrientes na água, trazidos pelas águas superficiais que erodem e lavam a superfície terrestre, propicia o desenvolvimento de algumas espécies de algas e a diminuição do oxigênio na coluna d'água, favorecendo o aumento de bactérias anaeróbicas, podendo atribuir sabor e cheiro desagradável a água e restringindo seu uso.

A eutrofização natural é um processo lento e contínuo que resulta do aporte de nutrientes trazidos pelas chuvas e é considerada como o “envelhecimento natural” do lago (Figura 5). Quando este processo é induzido pelo homem a eutrofização é denominada de artificial, cultural ou antrópica; neste caso, os nutrientes podem ter diferentes origens, como: esgotos domésticos, efluentes industriais e/ou atividades agrícolas. Este tipo de eutrofização é responsável pelo “envelhecimento precoce” de sistemas lacustres (ESTEVES, 2011).

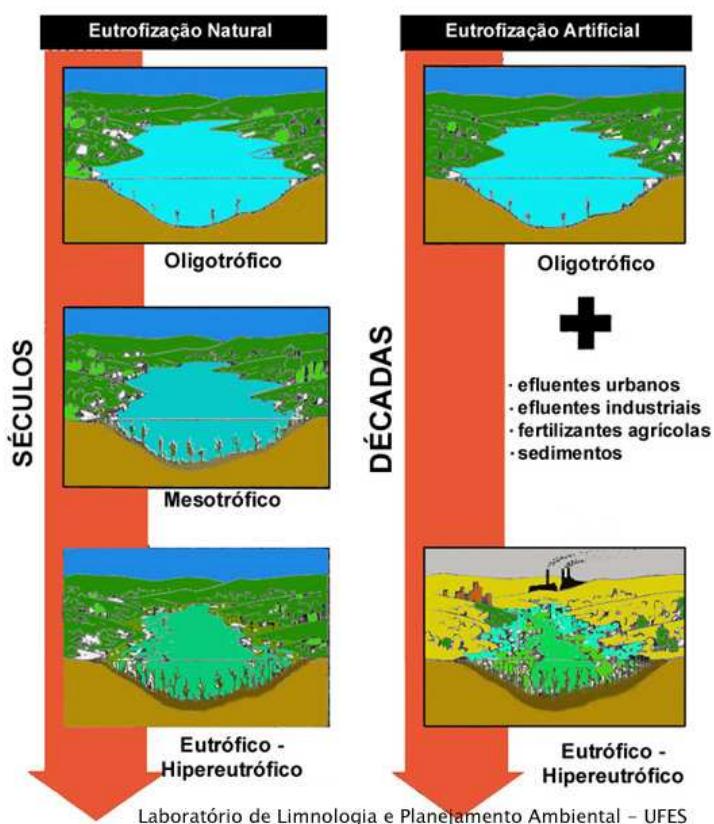


Figura 5: Processo de eutrofização (Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, 2011).

De acordo com Thomann e Mueller (1987, *apud* SILVA, 2006) o estado trófico de um lago é definido por vários fatores concomitantemente e as principais variáveis de importância para a análise do processo de eutrofização são:

- incidência de radiação solar na superfície e ao longo da coluna de água;
- geometria do corpo hídrico: área superficial, área do fundo, profundidade e volume;
- características hidrodinâmicas: fluxo, velocidade e dispersão;
- temperatura da água;

- nutrientes: fósforo, nitrogênio;
- fitoplâncton.

Lamparelli (2004) cita diversos estudos para determinar os graus de trofia, enriquecimento por nutrientes relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas, de um curso d'água; dentre eles, são apresentados autores como: Vollenweider (1968) que utilizava valores de nitrogênio e fósforo para determinar os níveis de trofia de corpos d'água; Wetzel (1993), que além dos dois parâmetros citados anteriormente também considerou dados de clorofila a; um estudo da OCDE (*Organization for Economic Cooperation and Development*) no qual são utilizados dados de fósforo e clorofila a para classificar os ambientes aquáticos; além de uma metodologia simplificada para determinação de níveis tróficos que utiliza valores de fósforo e clorofila a (SALAS e MARTINO, 2001).

Segundo Sharpley, Foy e Withers (2000) apesar do nitrogênio e carbono serem essenciais ao crescimento da biota aquática, maior atenção deve ser dada ao fósforo devido a dificuldade para controlar e mensurar as trocas de N e C entre a atmosfera e a água e a fixação biológica de nitrogênio atmosférico.

Para determinar os níveis de trofia de corpos d'água a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2006) utiliza o Índice de Estado Trófico (IET), estabelecido pelas seguintes equações (LAMPARELLI, 2004):

Em reservatórios:

$$IET (CI) = 10 \cdot (6 - ((0,92 - 0,34x(\ln CI)) / \ln 2))$$

$$IET (PT) = 10 \cdot (6 - (1,77 - 0,42x(\ln PT)) / \ln 2))$$

onde:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ;

CI: concentração de clorofila a medida à superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ;

$\ln$ : logaritmo natural.

Quando estão disponíveis as duas variáveis, o IET será a média aritmética simples de ambas:

$$IET = [ IET ( PT ) + IET ( CL ) ] / 2$$

No caso de haver resultados apenas para o fósforo, os resultados devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo (ANA, 2009b).

No Quadro 2 são apresentadas as classes, e as respectivas características, para os valores o IET.

Valor do IET	Classes de Estado Trófico	Características
= 47	Ultraoligotrófico	Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
47 < IET = 52	Oligotrófico	Corpos d'água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.
52 < IET = 59	Mesotrófico	Corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
59 < IET = 63	Eutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.
63 < IET = 67	Supereutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos
> 67	Hipereutrófico	Corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Quadro 2: Classes de estado trófico (ANA, 2009b).

Por sua vez, Dodds (1998, apud ESTEVES, 2011) propôs três classes, em que concentrações de fósforo total de até  $25 \mu\text{g.L}^{-1}$  representam águas

oligotróficas, concentrações entre 25 e 75  $\mu\text{g.L}^{-1}$  correspondem a águas mesotróficas e acima de 75  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , eutróficas.

## 2.5. Aproveitamentos Hidrelétricos

Os setores usuários das águas são os mais diversos, com aplicação para inúmeros fins. A utilização pode ter caráter consuntivo, ocorrendo quando a água é captada do seu curso natural e somente parte dela retorna ao curso normal do rio, ou não consuntivo, onde toda a água captada retorna ao curso d'água de origem (SETTI, 2000).

O uso hidrelétrico é um tipo de uso não consuntivo, pois ocorre sem derivação, além disso, como a água é utilizada apenas no acionamento de turbinas, requerem-se baixos requisitos de qualidade.

Difundida durante o século XX, a roda d'água, foi o primeiro engenho capaz de realizar trabalho a partir de uma queda d'água, ou seja, converter energia hidráulica em energia mecânica. Já o conjunto turbina-gerador de uma usina hidrelétrica ou de uma pequena central hidrelétrica converte energia hidráulica em energia elétrica (FEPAM, 2004).

Segundo Tucci (2007), o uso da água para obtenção de energia hidráulica que é transformada em energia elétrica tem sido um dos usos mais frequentes dos recursos hídricos.

Segundo a FEPAM (2004):

A geração de energia através de usinas hidrelétricas pressupõe o aproveitamento da diferença de energia potencial entre o nível d'água de montante e o de jusante. Vale ressaltar que além da queda d'água deve estar disponível uma vazão mínima, de modo que rios caudalosos sem queda d'água ou rios com altas cachoeiras mas com vazão intermitente não permitem aproveitamentos hidrelétricos eficientes.

Para regularizar a vazão e criar o desnível necessário à produção de energia são utilizadas barragens; a montante destas barragens formam-se lagos onde a profundidade aumenta e a velocidade da água diminui. A qualidade da água represada pode produzir estratificação térmica que interfere na geração de gases e na formação de algas, produzindo a degradação do lago e do escoamento a jusante da barragem (TUCCI, 2007).

Na unidade hidrográfica Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo, local onde está instalada a PCH Buricá, há uma condição regular de aproveitamento hidrelétrico. A morfologia hidrográfica apresenta cursos d'água encaixados e com boa declividade, sem, no entanto, a presença de elevadas vazões (FEPAM, 2004). Esta característica propiciou a instalação ou a proposição de instalação de 27 pequenos empreendimentos hidrelétricos (Quadro 3), sendo cinco Centrais de Geração de Energia (CGH) e 22 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), contudo, não há nenhuma Usina Hidrelétrica de grande geração (ANEEL, 2011).

Município	Rio	Nome	Estágio	Tipo	Latitude	Longitude
Braga	Turvo	Marco Baldo	Construção	PCH	-27,57	-53,7858
		Toca do Tigre	Outorga	PCH	-27,5453	-53,8053
		Turvo 12	Inventariado	PCH	-27,53	-53,79
		Turvo 8	Inventariado	PCH	-27,601	-53,791
		Turvo 9	Inventariado	PCH	-27,588	-53,789
Campina das Missões	Comandai	Caraguatá	Operação	CGH	-28,0242	-54,8361
Campo Novo	Turvo	Carlos Gonzatto	Operação	PCH	-27,6206	-53,8047
		Turvo	Operação	CGH	-27,725	-53,775
		Turvo 7	Inventariado	PCH	-27,611	-53,791
Chiapetta	Buricá	Nilo Bonfante	Operação	CGH	-27,9606	-53,97
Crissiumal	Lajeado Grande	Caa-Yari	Outorga	CGH	-27,4292	-54,1206
Derrubadas	Turvo	Turvo 18	PB com Registro	PCH	-27,8969	-54,1074
Giruá	Comandai	Claudio Fernando Picolli	Operação	CGH	-27,4292	-54,1206
<b>Independência</b>	<b>Buricá</b>	<b>Buricá</b>	<b>Operação</b>	<b>PCH</b>	<b>-27,8966</b>	<b>-54,1072</b>
Miraguaí	Turvo	Turvo 14	PB com Aceite	PCH	-27,4458	-53,8417
Porto Mauá	Santo Cristo	Santo Cristo III	PB com Registro	PCH	-27,6239	-54,6811
Santa Rosa	Santa Rosa	A - Trincheira	PB com Aceite	PCH	-27,7811	-54,3717
		Eixo C - Santo Antônio	Operação	PCH	-27,7017	-54,4194
		Santo Cristo I	PB com Aceite	PCH	-27,8408	-54,5536
Santo Cristo	Santo Cristo	Cerro Grande	Inventariado	PCH	-27,7908	-54,5928
		Erval Novo	Inventariado	PCH	-27,7017	-54,6558
Tenente Portela	Turvo	Turvo 13	PB com Aceite	PCH	-27,4017	-53,8158
		Turvo 15	Inventariado	PCH	-27,42	-53,848
		Turvo 16	Inventariado	PCH	-27,387	-53,884
		Turvo 17	Inventariado	PCH	-27,366	-53,873
Três de Maio	Santa Rosa	B - Santa Rosa	Operação	PCH	-27,77	-54,386
Tuparendi	Santo Cristo	Santo Cristo II	PB com Registro	PCH	-27,7506	-54,6311

**Quadro 3: Empreendimentos hidrelétricos na U30 (ANEEL, 2011).**

As centrais geradoras de energia (CGH) são caracterizadas por possuírem potenciais hidráulicos iguais ou inferiores a 1.000 kilowatt (kW), estes aproveitamentos independem de concessão ou autorização, devendo, apenas, serem comunicados ao órgão regulador e fiscalizador do poder concedente, para fins de registro (BRASIL, 1996). São considerados aproveitamentos com características de pequenas centrais hidrelétricas (PCH) os empreendimentos de geração de energia com potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, com área total de reservatório inferior a 3,0 km<sup>2</sup> (ANEEL, 2003a). Esses tipos de empreendimentos possibilitam um melhor atendimento às necessidades de carga de pequenos centros urbanos e regiões rurais, uma vez que, na maioria dos casos, complementa o fornecimento realizado pelo Sistema Interligado Nacional (SIN). Por isso, além de simplificar o processo de outorga, o Governo concedeu uma série de benefícios ao empreendedor para estimular os investimentos (ANEEL, 2003b).

Os empreendimentos com capacidade de geração maior que 30.000 kW são chamados de usinas hidrelétricas (UHE).

## **2.6. Geoprocessamento como ferramenta de apoio em análise ambiental**

Para analisar as possíveis variações no uso do solo da bacia de contribuição é necessário realizar um mapeamento da área, para isso, torna-se essencial o uso de técnicas de geoprocessamento.

Segundo Rosa (2005) geoprocessamento ou geotecnologias são um conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica; que envolvem pelo menos quatro categorias de técnicas relacionadas ao tratamento das informações: técnicas para coleta de informação espacial (sensoriamento remoto, GPS, topografia); técnicas de armazenamento (bancos de dados); técnicas para tratamento e análise (modelagem de dados, funções topológicas, redes); e, técnicas para o uso integrado de informação espacial, como os sistemas de informações geográficas (SIG).

Para Câmara e Davi, essas tecnologias vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As principais ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar

dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

As principais características de um SIG são: capacidade de coletar e processar dados espaciais obtidos a partir de diversas fontes, tais como, levantamentos de campo, mapas existentes, sensoriamento remoto; capacidade para armazenar, recuperar, atualizar e corrigir os dados processados de forma eficiente e dinâmica; capacidade para permitir manipulações e análise dos dados armazenados; e, capacidade de controlar a exibição e a saída de dados (Fundamentos de Geoprocessamento, Disponível em: <http://www.ltc.ufes.br/geomaticsce/Modulo%20Geoprocessamento.pdf>).

No presente trabalho foram utilizados dados de sensoriamento remoto, termo que é utilizado para se referir a imagens obtidas sem contato com o objeto imageado. Estes dados podem ser imagens aéreas, captadas por câmaras acopladas em aviões, ou imagens de satélite, obtidas por sensores que são acoplados a um satélite. Imagens de sensoriamento remoto são um valioso recurso para a obtenção de dados da superfície pelas seguintes razões: apresentam grande área de cobertura, com um custo relativamente baixo; possibilitam obter informações em uma ampla faixa espectral, ou seja, em zonas de comprimento de onda como a do infravermelho ou termal, é possível detectar feições ou fenômenos que seriam invisíveis a olho nu; possibilitam comparar dados obtidos em diferentes épocas e avaliar as mudanças ocorridas na cobertura do solo (BOLSTAD, 2008).

Diversos trabalhos com foco em recursos hídricos têm utilizado técnicas de geoprocessamento como ferramentas de apoio na análise desses ambientes. Desses podem ser citados Trentin et al (2009), que utilizaram dados de sensoriamento remoto, associados a dados de campo para caracterizar espectralmente a água do Reservatório Passo Real considerando as variáveis limnológicas. Por sua vez, Prado (2004) utilizou técnicas de geoprocessamento para mapear o uso e cobertura do solo na bacia de drenagem do reservatório de Barra Bonita (SP), verificando sua relação com os parâmetros de qualidade da água, no intuito de subsidiar a gestão dos recursos hídricos. Fonseca (2010) buscou identificar e quantificar os mecanismos de contribuição antrópica para a poluição do reservatório de São Simão (GO/MG), neste caso o uso de técnicas de geoprocessamento esteve voltado para a avaliação do impacto da atividade

agropastoril na qualidade de água do referido reservatório. Por último, Xavier (2005) realizou mapeamento de uso do solo em duas bacias de mananciais de abastecimento da Região Metropolitana de Curitiba visando estabelecer sua situação atual, avaliar a tendência de eutrofização e determinar os aspectos que tornam os ambientes mais suscetíveis às consequências da eutrofização.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

---

#### **3.1. Metodologia**

Para avaliar a qualidade de um corpo de água, bem como, a relação deste com a região adjacente foi necessário utilizar uma gama de dados, de diversas fontes, formatos e em um período de tempo considerável. Durante este estudo foram utilizados dados relativos às propriedades físicas e químicas da água, dados cartográficos e censitários, estes dados são descritos no item 3.1.1.

Já as metodologias utilizadas para avaliar os parâmetros apresentados, determinar os níveis tróficos do reservatório, bem como as contribuições de poluentes por cada tipo de uso são descritas no item 3.1.2.

##### **3.1.1 Etapa A, Levantamento de dados**

###### **Dados limnológicos**

Foram obtidos os resultados de 29 campanhas, com amostras em três pontos no reservatório e proximidades: P1 - montante, P2 - reservatório e P3 - casa de máquinas (Figura 6), realizadas entre março de 1999, ano de instalação da PCH, e abril de 2011, última campanha realizada no referido local. Estes dados fazem parte do monitoramento que deve ser enviado periodicamente à FEPAM e foram fornecidos pela Cooperativa de Energia Elétrica e Desenvolvimento Rural Entre Rios Ltda. (CERTHIL).

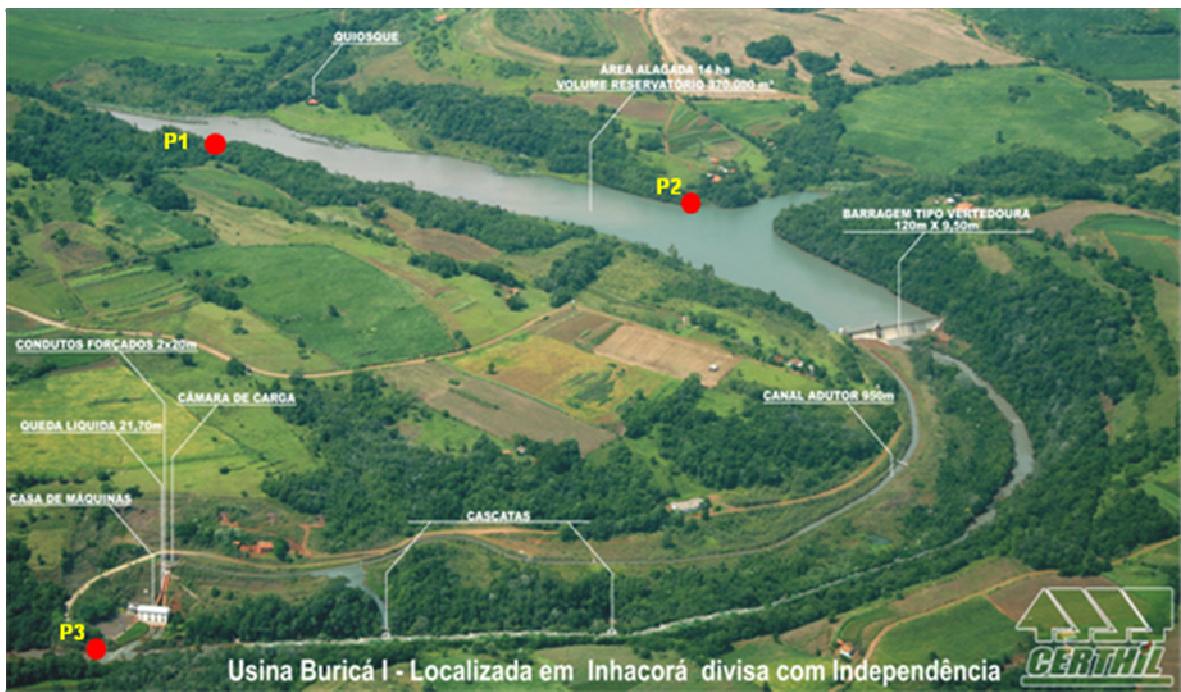


Figura 6: Localização dos pontos de coleta de água (Fonte: Certhil, 2011).

Em cada campanha foram realizadas análises físico-químicas, referentes aos seguintes parâmetros<sup>2</sup>:

- Temperatura da amostra (°C)
- Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
- Turbidez (UNT)
- pH
- N-NO<sub>3</sub> (mg/L)
- P-PO (mg/L)
- Oxigênio Dissolvido (mg O<sub>2</sub>/L)
- Demanda Bioquímica de Oxigênio<sub>5</sub>: (mg O<sub>2</sub>/L)

### Dados cartográficos

Durante a elaboração do trabalho foram utilizadas as seguintes bases cartográficas:

- Limites políticos disponibilizados pelo IBGE.

<sup>2</sup> Conforme consta nas análises as técnicas analíticas estão baseadas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, American Health Association, Washington, 1995.

- Regiões e bacias hidrográficas obtidas junto ao sítio eletrônico da Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA).
- Base de pontos com informações sobre a localização e características dos empreendimentos de geração de energia instalados no Estado do Rio Grande do Sul, obtida junto ao sítio eletrônico da ANEEL.
- Dados de elevação do terreno do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 90m x 90m, disponíveis no sítio eletrônico da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Para a cobertura do local, foram necessárias quatro cartas (SH-22-V-A, SG-21-Z-D, SG-22-Y-C, SH-21-X-B).
- Imagem do satélite LANDSAT - 5 (*Land Remote Sensing Satellite*), sensor TM (*Thematic Mapper*), disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2011). Este sensor possui sete bandas, sendo que cada uma representa uma faixa do espectro eletromagnético captada pelo satélite; a resolução geométrica das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 é de 30m e, da banda 6 é de 120m. No Quadro 4 são apresentadas as imagens utilizadas que foram escolhidas por estarem disponíveis tanto no ano anterior a instalação da PCH, quanto no momento atual, o que possibilita verificar as mudanças ocorridas na bacia de contribuição durante o período.

Órbita	Ponto	Data
223	79	23/11/1998
223	79	08/11/2010

**Quadro 4: Cenas Landsat 5 TM utilizadas no estudo.**

Dessas imagens, foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5, por apresentarem características espectrais compatíveis com os objetivos de mapeamento do trabalho. De acordo com INPE (2011) essas bandas possuem as seguintes características:

**Banda 3:** intervalo espectral 0,63 µm – 0,69 µm, nesta banda a vegetação verde, densa e uniforme, apresenta baixos valores de reflectância, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: campo, solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, floresta). Permite o mapeamento de áreas de drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em

regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana. Permite a identificação de áreas agrícolas.

**Banda 4:** intervalo espectral 0,76 µm – 0,90 µm, os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e apresenta baixos valores de reflectância, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.

**Banda 5:** intervalo espectral 1,55 µm – 1,5 µm, Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.

- Cartas topográficas digitalizadas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG), na escala 1:50.000 da área de estudo (Quadro 5).

MI	Nome	Folha
2915/1	Ajuricaba	SH.22-V-A-I-1
2914/2	Catuípe	SH.21-X-B-III-2
2899/3	Santo Augusto	SG.22-Y-C-IV-3
2898/4	Três de Maio	SG.21-Z-D-VI-4

**Quadro 5: Cartas topográficas na área de estudo.**

### Dados censitários

- Para a caracterização demográfica dos municípios, foram utilizados dados de população, urbana e rural, do censo de 2010, disponibilizados pelo IBGE.
- As informações sobre o tipo de culturas plantadas, culturas irrigadas e os rebanhos predominantes, por município, foram obtidas junto ao Sistema IGBE de Recuperação Automática (SIDRA).

### **3.1.2 Etapa B, Processamento dos dados**

Nesta etapa foram tabulados e analisados os dados de qualidade da água e elaborados os mapas temáticos.

No software ArcGis 9.3 as cartas de SRTM foram mosaicadas e recortadas (ferramentas *mosaic to new raster* e *extract by mask*, respectivamente). Com os dados de localização da PCH e de declividade, foi delimitada a área de contribuição da bacia, para isso foram utilizadas as ferramentas da extensão *spatial analyst tools, hydrology*.

Após delimitar a área de contribuição, foram identificados os municípios que possuem alguma área dentro da bacia de contribuição e levantados dados que possam auxiliar na caracterização da área. Foi realizado cruzamento da base vetorial municipal e censitária com a bacia contribuição utilizando a ferramenta *identity* e, a partir disso, foram obtidas as áreas urbanas e rurais de cada município na bacia de contribuição. Com os porcentuais de cada município na bacia e os dados de população, por município e por setor censitário, foi possível estimar a população urbana e rural na área de estudo. Ao todo, seis municípios possuem algum trecho do território dentro da bacia de contribuição, contudo, os dados censitários de Ijuí e Nova Ramada não foram considerados na estimativa de população da bacia; além disso, também não foram considerados os rebanhos e o tipo de cultura predominante, pois, estes municípios apresentam áreas muito pequenas dentro da área de estudo, correspondendo a menos de 1% da área total em ambos os casos.

Para calcular a população da bacia, as áreas dos municípios não considerados foram distribuídas entre os municípios adjacentes, que possuíam as mesmas características na bacia de contribuição, ou seja, áreas rurais.

Após identificar as cartas topográficas que recobrem a área de estudo, procedeu-se ao georreferenciamento das mesmas. Com a ferramenta *georeferencing* foram fixados pontos de controle que, neste caso, corresponderam às coordenadas UTM disponíveis na grade das cartas. Como a área de estudo está localizada na divisa dos fusos 21 e 22, as cartas foram georreferenciadas nos respectivos fusos e, com a ferramenta *project*, reprojetadas para o sistema de coordenadas geográficas.

Para melhor interpretação dos alvos foi feita uma composição colorida com as bandas 3, 4 e 5 das imagens Landsat, citadas anteriormente, para isso foi utilizada a ferramenta *composite bands* do ArcGis 9.3. Com as cartas georreferenciadas e a identificação de feições semelhantes nas imagens de satélite, tais como cruzamentos de estradas e corpos d'água, foi feito o georreferenciamento das imagens; neste processo foi utilizada novamente a ferramenta *georreferencig e*, os pontos de controle corresponderam às feições semelhantes encontradas nas cartas e nas imagens, para isso primeiro foi marcado o ponto da imagem a ser georreferenciada e, em seguida, o ponto correspondente na carta.

Após o georreferenciamento das imagens foi criado um arquivo com a extensão *shapefile*, tipo polígono, para cada ano analisado (1998 e 2010). A elaboração da base do mapa de uso e cobertura do solo foi feita com as ferramentas da extensão *editor*, uma vez que esta permite criar e editar dados vetoriais. Moreira (2005) destaca que, para a interpretação das classes de uso do solo, devem ser consideradas características como forma, tamanho, tonalidade, cor, textura e sombra dos objetos que serão classificados.

Neste estudo foram diferenciadas sete classes: agropecuária, áreas urbanizadas, corpos d'água, irrigação por pivô central, reflorestamento, reservatório da PCH Buricá e vegetação natural. Segundo o Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2006a), estas classes possuem as seguintes características:

**Agropecuária:** pertence ao grupo de atividades antrópicas agrícolas e incorpora áreas de pastagens plantadas e lavouras. Foi utilizada esta, classe onde são agrupadas áreas destinadas à agricultura e à pecuária, por causa da dificuldade para separá-las em função da resolução da imagem usada para o mapeamento de uso e ocupação do solo.

**Áreas urbanizadas:** são áreas antrópicas não-agrícolas que compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas. Estão incluídas nesta categoria cidades e vilas.

**Corpos d'água:** corpos d'água naturais e artificiais, tais como, rios, canais, lagos e lagoas de água doce, represas, açudes.

**Reflorestamento:** plantio ou formação de maciços com espécies florestais ou exóticas. Nessa definição não se considera se o plantio é realizado em áreas

anteriormente povoadas com espécies florestais ou não, pois reflorestamento abrange todas as áreas povoadas com essências florestais. Quando homogêneo refere-se a plantios puros, normalmente feitos com espécies exóticas, como *pinus* e eucalipto.

**Reservatório (da PCH Buricá):** represamento artificial de água utilizado para geração de energia.

**Vegetação natural:** formações arbóreas, incluindo-se aí florestas densas, florestas abertas e mata ciliar nos diferentes estágios.

No Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2006a) não há nenhuma classe referente a áreas irrigadas, contudo, foram delimitados os pivôs centrais existentes na área de estudo, uma vez que estes são facilmente identificáveis, bem como, responsáveis por elevada demanda de água.

Os dados das análises de qualidade de água do reservatório foram digitalizados, em seguida, foram verificadas as classes em que cada amostra poderia ser enquadrada, de acordo com a Resolução CONAMA 357/05. Destaca-se que este “enquadramento” é apenas um exercício de verificação das condições da água no local, uma vez que o efetivo enquadramento de um corpo d’água, instrumento da Política Nacional dos Recursos Hídricos, corresponde ao estabelecimento de objetivos de qualidade a serem alcançados através de metas progressivas intermediárias e final da qualidade de água; e, deve ser elaborado em conformidade com o Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica, devendo conter diagnóstico, prognóstico, propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento e, programas de efetivação (RESOLUÇÃO CNRH nº 91/2008).

No Quadro 7 são apresentados os valores, por parâmetro, relativos a cada classe de água. Considerando que os valores de fósforo, para cada classe, variam com o tipo de ambiente, os dados obtidos foram analisados utilizando limites diferentes. Os pontos P1 e P2 foram considerados ambientes intermediários, enquanto o ponto P3 foi considerado ambiente lótico para o parâmetro citado anteriormente.

Parâmetros:	Nitrito (mg/L N- NO <sub>3</sub> )	OD (mg/L O <sub>2</sub> )	pH	Turbidez (UNT)	DBO <sub>5,20</sub> (mg/L O <sub>2</sub> )	Fósforo Total (mg/L P) <sup>3</sup>	Fósforo Total (mg/L P) <sup>4</sup>
Classe 1	0 - 10	≥ 6	6 - 9	0 - 40	0 - 3	0 - 0,025	0 - 0,1
Classe 2		5 - 6		40 - 100	3 - 5	0 - 0,050	
Classe 3		4 - 5		>100	5 - 10	0 - 0,075	0,1 - 0,15
Classe 4		>10		2 - 4	> 10	> 0,075	> 0,15

**Quadro 6: Classes de qualidade da água (CONAMA, 2005).**

Para avaliar o potencial de eutrofização do reservatório da PCH Buricá foi utilizado IET, referente aos valores de fósforo, da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2006) modificado por Lamparelli (2004):

$$\text{IET (PT)} = 10.(6-(1,77-0,42.(\ln \text{PT})/\ln 2))$$

onde:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg.L<sup>-1</sup>;

In: logaritmo natural.

As contribuições antrópicas de fósforo na bacia de contribuição foram estimadas a partir dos valores típicos considerados por Von Sperling (2005), como pode ser observado no Quadro 8.

Fonte	Tipo	Valores típicos	Unidade
Drenagem	Áreas de matas e florestas	10	Kg P/km <sup>2</sup> .ano
	Áreas agrícolas	50	Kg P/km <sup>2</sup> .ano
	Áreas urbanas	100	Kg P/km <sup>2</sup> .ano
Esgotos	Domésticos	1	Kg P/hab.ano

**Quadro 7: Contribuições unitárias de fósforo típicas (VON SPERLING, 2005).**

### 3.1.3 Etapa C, Análise dos dados

Nesta etapa, foram analisados os gráficos e mapas elaborados na etapa anterior, bem como o acabamento do trabalho e a divulgação dos resultados

<sup>3</sup> Estes valores referem-se a ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lítico.

<sup>4</sup> Valores referentes a ambientes lóticos e tributários de ambientes intermediários.

obtidos, mostrando os parâmetros que estão em condições satisfatórias e o que poderiam passar por alterações.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Uso e ocupação do solo na bacia de contribuição

Segundo Leite e Klein (1990, *apud* FEPAM, 2004), originalmente a área de estudo abrangia duas unidades fitogeográficas, como pode ser observado na Figura 7. A maior parte da bacia de contribuição do reservatório está localizada no que o autor caracteriza como Área de Tensão Ecológica. Esta unidade corresponde a áreas em que a flora da savana interpenetra-se com a flora da floresta estacional, onde a savana predomina nos interflúvios de relevo conservado e solos rasos, enquanto que a floresta estacional ocupa os vales encaixados e as encostas das vertentes formadas pelas drenagens menores (FEPAM, 2004).

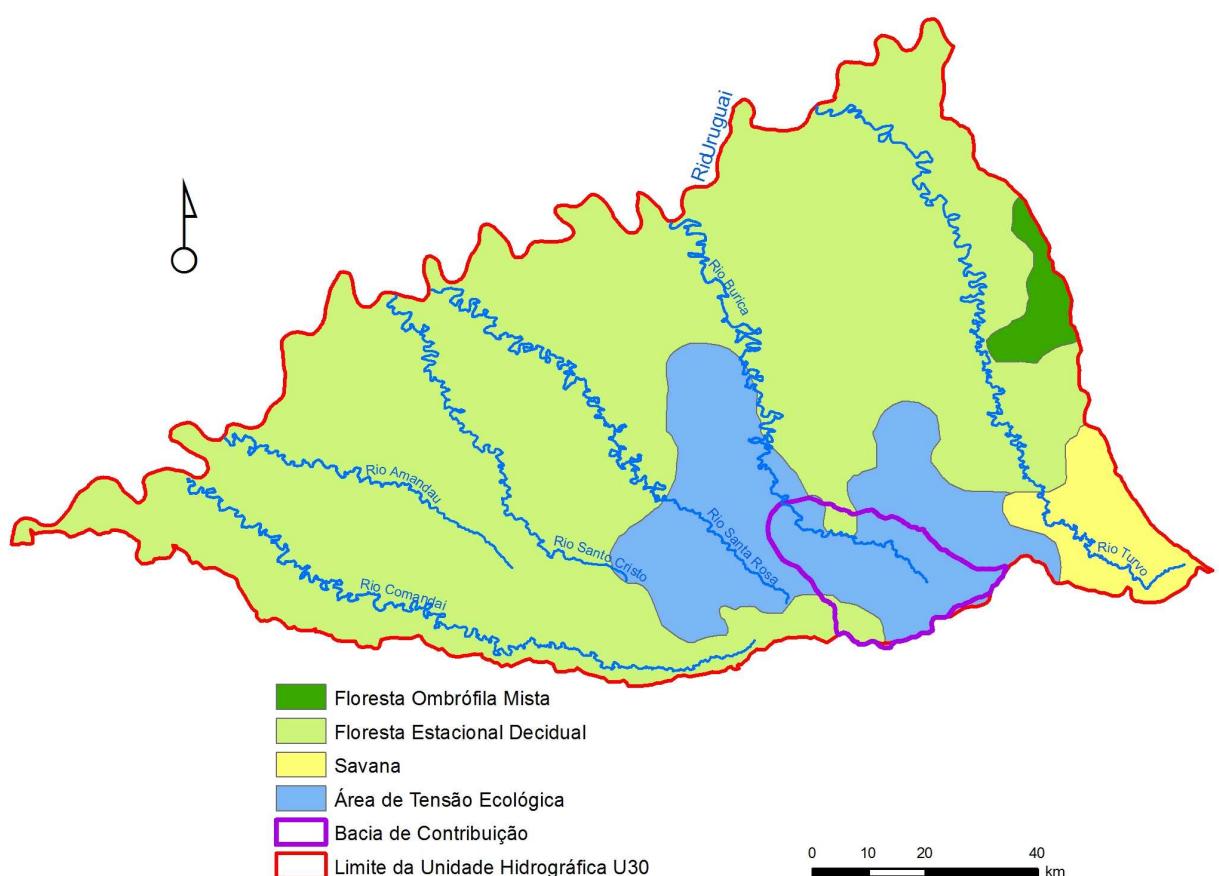


Figura 7: Unidades fitogeográficas na U30 (Adaptado de FEPAM, 2004).

Um pequeno trecho da bacia de contribuição possui como formação fitogeográfica original a Floresta Estacional Decidual. Esta formação caracteriza-se

pela caducidade de mais de 50% das árvores do estrato dominante no período do ano em que ocorre frio intenso, ocasionando a chamada “seca fisiológica”. A estrutura da floresta apresenta, além do estrato arbóreo emergente aberto e decíduo, um estrato arbóreo contínuo e essencialmente perenifólio, e um de arvoretas (FEPM, 2004).

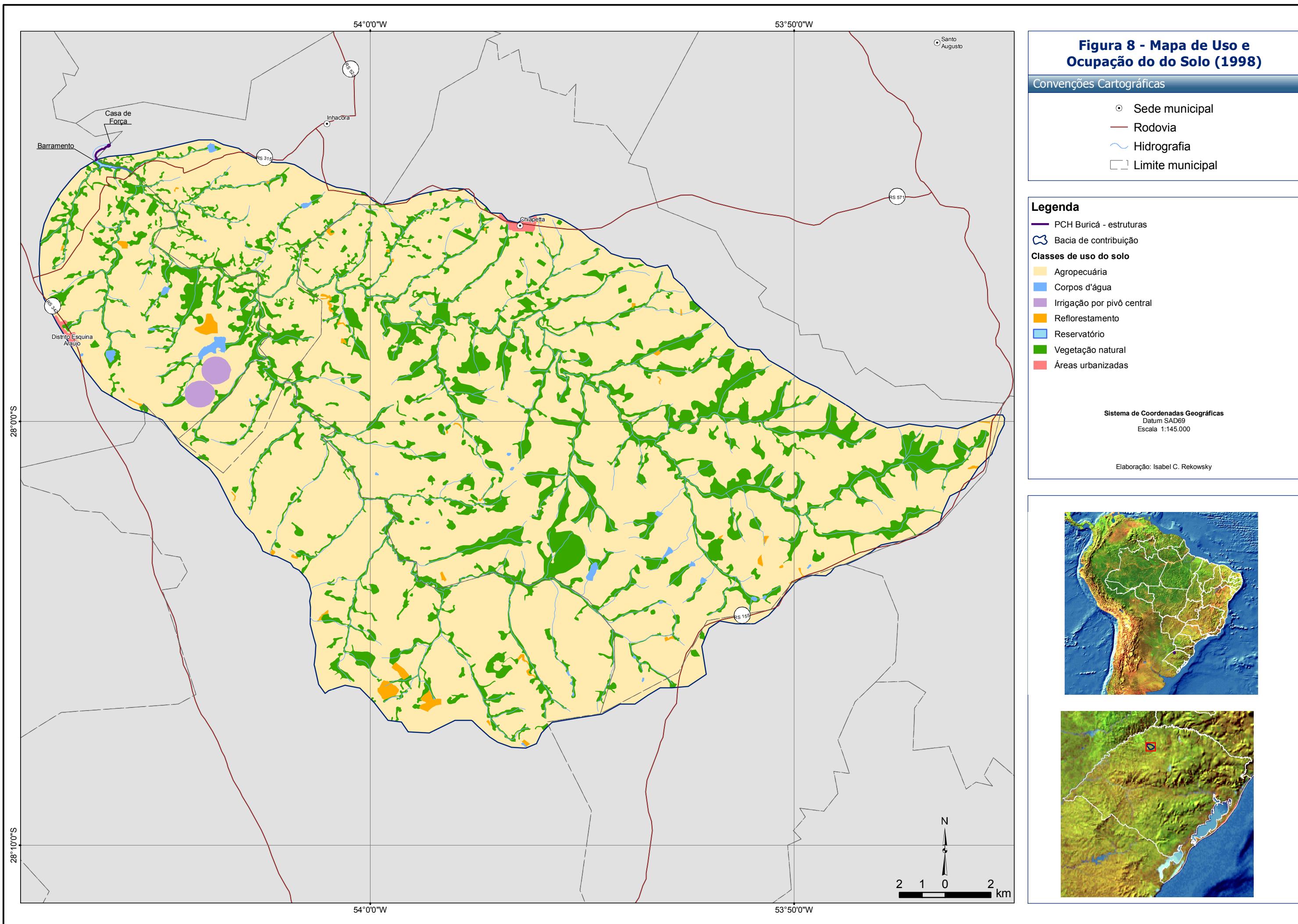
Na região onde está inserida a área de estudo ocorreram diversos modelos de desenvolvimento desde a época das missões jesuíticas. Até 1801 esta região pertencia à Espanha e predominava o modelo agrário e social jesuítico. O domínio português sobre a região das Missões levou ao processo de apropriação da terra pelos estancieiros-militares e a exploração pastoril e extrativa da erva-mate. A partir do final do século XIX os ervais perderam importância econômica e houve incentivo por parte do estado para o ingresso de imigrantes europeus na região. O projeto de desenvolvimento nacional através da substituição das importações e o fortalecimento do mercado interno consolidaram-se com a modernização da agricultura e da agroindústria a partir década de 1960 (FEPM, 2004).

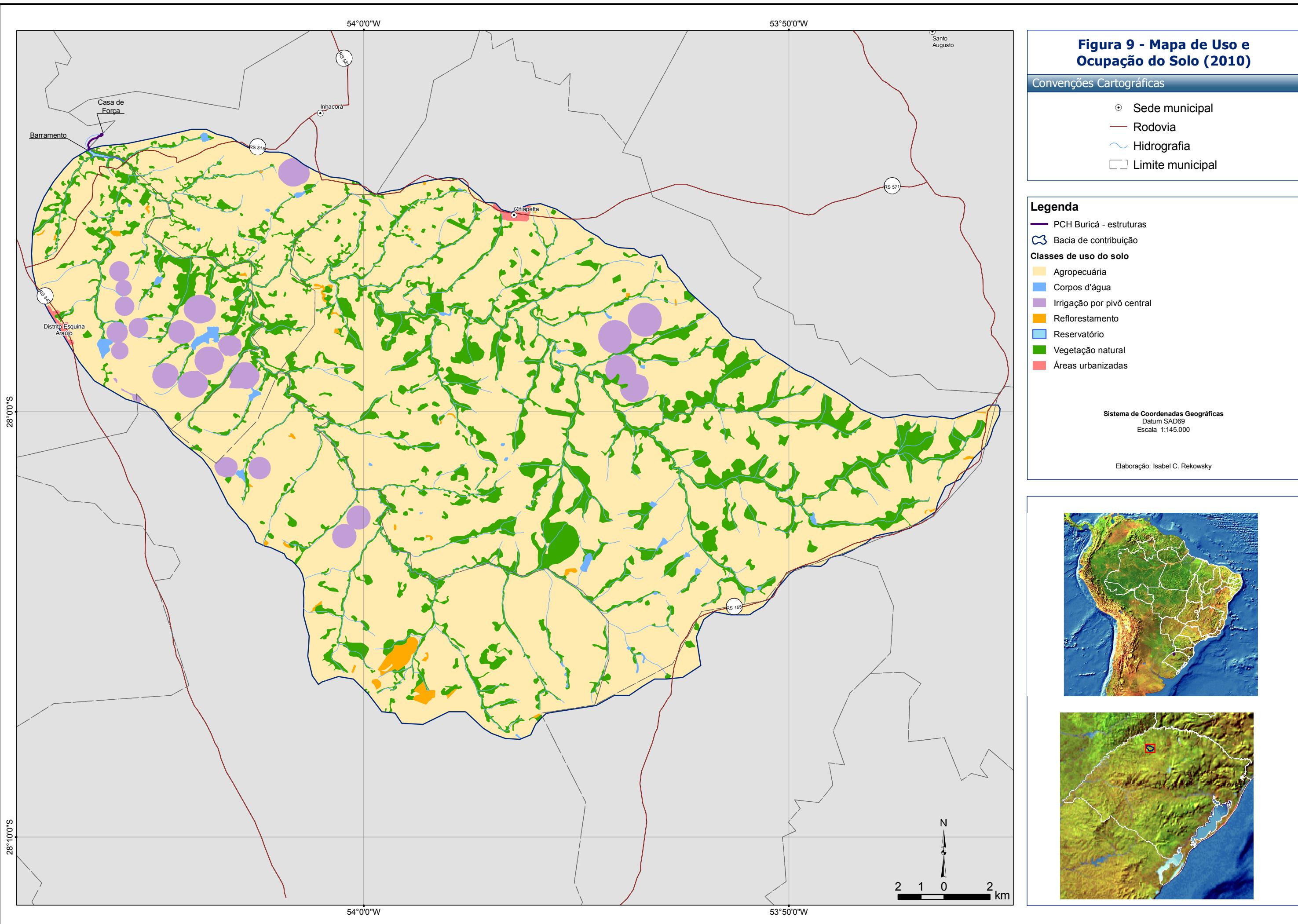
Atualmente a bacia de contribuição do Reservatório da PCH Buricá possui pequenas áreas não alteradas por atividades antrópicas. Após o mapeamento do uso e cobertura do solo foram calculadas as áreas de cada classe, como pode ser observado no Quadro 9, assim como os porcentuais de cada uma, para os anos 1998 e 2010.

Classe	Área (km <sup>2</sup> )		%	
	1998	2010	1998	2010
Agropecuária	435,45	425,51	80,73	78,82
Reflorestamento	2,90	2,92	0,54	0,54
Corpos d’água	1,86	2,56	0,35	0,47
Irrigação por pivô central	2,16	18,72	0,40	3,47
Áreas urbanizadas	1,00	1,06	0,18	0,26
Vegetação natural	96,04	88,64	17,80	16,43

**Quadro 8: Áreas e porcentuais das classes de uso do solo.**

As Figuras 8 e 9 correspondem aos mapas de uso do solo nos anos 1998 e 2010, respectivamente.





A seguir são descritas as classes analisadas:

- Vegetação nativa: áreas cobertas por vegetação correspondem, em sua maioria, a vegetação ciliar, ou seja, estão concentradas ao longo dos cursos d'água, em ambos os anos. Esta classe apresentou variação negativa no período analisado passando de 17,80% da área da bacia, em 1998, para 16,43%, em 2010. As principais mudanças identificáveis nas imagens utilizadas como base para elaboração dos mapas de uso do solo referem-se à redução da largura da faixa coberta por mata próxima aos cursos d'água, ou seja, houve um “encolhimento” da vegetação ciliar no intervalo de tempo analisado.
- Reflorestamento: apesar do avanço das áreas de florestas plantadas ocorrido nos últimos anos no Estado, na área de estudo esta classe praticamente não apresentou variação entre 1998 e 2010. Em 1998, as áreas cobertas por esta classe correspondiam a 2,90 km<sup>2</sup>; enquanto, em 2010, 2,92 km<sup>2</sup> correspondem a áreas classificadas como reflorestamento. Destaca-se que, apesar de ocorrerem pequenas modificações na área ocupada, houve mudança na localização de alguns talhões. Segundo estudos da FEPAM (2004), a maior parte das áreas ocupadas com plantios florestais na Bacia do Rio Buricá em 2000 correspondiam aos chamados quebra-ventos.
- Áreas urbanizadas: no período analisado houve pequena variação nesta classe. Em 1998, a área urbana do município de Chiapetta, na bacia de contribuição, correspondia a 0,63 km<sup>2</sup> e o distrito Esquina Araújo, pertencente à Independência ocupava 0,37 km<sup>2</sup>. No período analisado, a área referente à Chiapetta não apresentou variação, enquanto o distrito Esquina Araújo passou a ocupar uma área de 0,43 km<sup>2</sup>. Utilizando as áreas urbanizadas obtidas através do mapeamento do uso do solo e a população por setor censitário foi estimada a população da bacia de contribuição, como pode ser observado no Quadro 9.

Município	População rural (2000)	População urbana (2000)	População total (2000)	População rural (2010)	População Urbana (2010)	População total (2010)
Catuípe	729	0	729	604	0	604
Chiapeta	1548	1273	2821	1260	1370	2630
Independência	589	342	931	436	383	819
Inhacorá	501	0	501	419	0	419

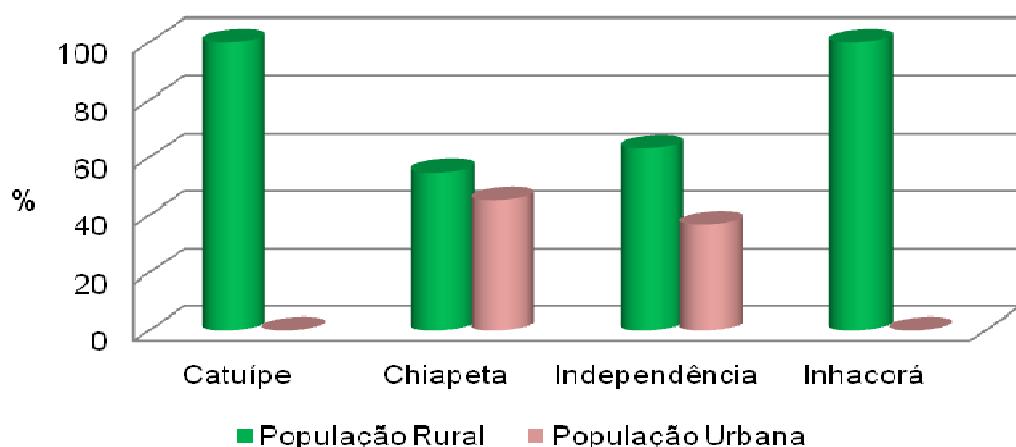
**Quadro 9: População estimada na bacia de contribuição (IBGE, Censos 2000/2010).**

Por sua vez, a população rural dos municípios na bacia de contribuição foi considerada homogênea e estimada a partir do porcentual do município pertencente à área de estudo (Quadro 10).

Município	Área Total (km <sup>2</sup> )	Área do município na bacia de contribuição	% do município na bacia de contribuição
Catuípe	586,26	102,88	17,55
Chiapeta	397,54	317,66	79,91
Independência	358,00	63,39	17,71
Inhacorá	113,93	51,81	45,47

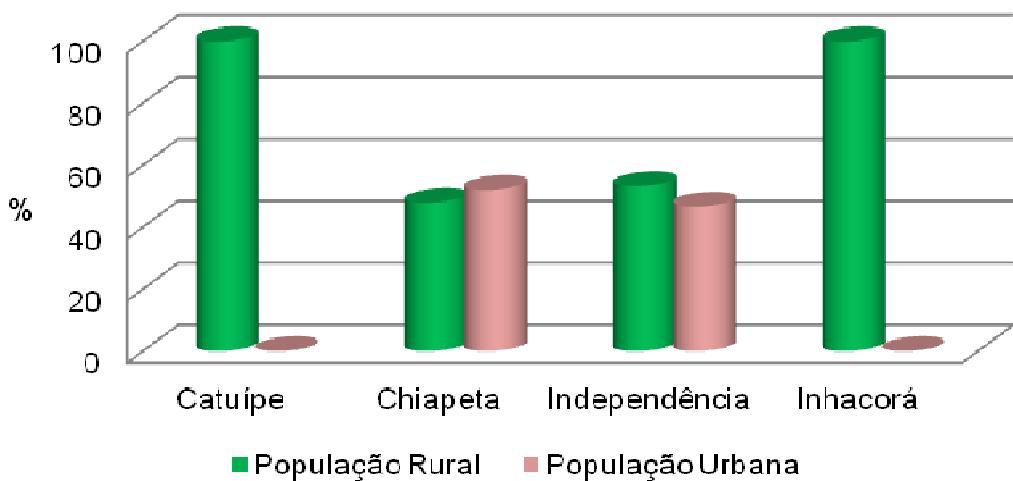
**Quadro 10: Porcentual do município na área de estudo.**

A partir da estimativa de população na bacia, foram determinados os porcentuais de moradores em áreas urbanas e rurais (Figura 10 e Figura 11).



**Figura 10: População na bacia de contribuição, por local de residência – 2000. (IBGE, Censo 2000).**

Como pode ser observado na Figura 10, Catuípe e Inhacorá não possuem, áreas urbanas na bacia de contribuição e, consequentemente, não possuem população urbana na área de estudo, além disso, a população estimada de Chiapeta e Independência, para a bacia, também é majoritariamente rural.



**Figura 11: População na bacia de contribuição, por local de residência – 2010. (IBGE, Censo 2010).**

No período intercensitário analisado houve um pequeno incremento na população urbana, enquanto a população rural apresentou decréscimo em todos os municípios.

➤ Agropecuária: a maior parte das terras da bacia é utilizada em atividades do setor primário. No mapeamento referente a 1998, a soma das áreas ocupadas por lavouras (não irrigadas por pivôs) e campos corresponde a 435,45 km<sup>2</sup>; em 2010, verificou-se uma pequena redução da área ocupada por essa classe, passando para 425,51 km<sup>2</sup>. Visando caracterizar melhor a área de estudo, foram levantados dados referentes às atividades agropecuárias, tais como, tipos de lavouras, cultivos predominantes e rebanhos, dos municípios inseridos na bacia de contribuição.

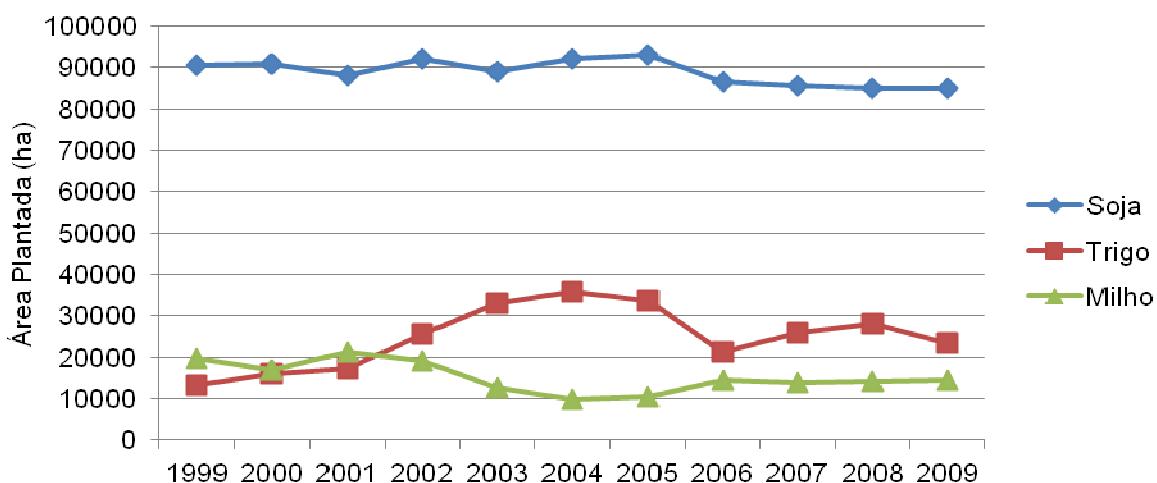
De acordo com dados do Censo Agropecuário de 2006b, as atividades econômicas do setor primário desenvolvidas nos municípios inseridos na bacia correspondem, principalmente, a lavouras temporárias e a pecuária (Quadro 11).

Utilização das terras	Hectares
Lavouras - permanentes	930
Lavouras - temporárias	98.128
Pastagens - naturais	7.047
Pastagens plantadas	3.283
Matas e/ou florestas naturais	14.327
Matas e/ou florestas plantadas	938
Aquicultura	568
Construções, benfeitorias ou caminhos	2.685
Terras inaproveitáveis	1841

**Quadro 11: Utilização terras nos municípios inseridos na bacia. (IBGE, Censo Agropecuário 2006b).**

Ao analisar os dados do censo agropecuário observa-se que as lavouras temporárias ocupam quase 90% das áreas destinadas a atividades do setor primário; em segundo lugar estão as áreas ocupadas pela pecuária, correspondentes a 9,94% das áreas.

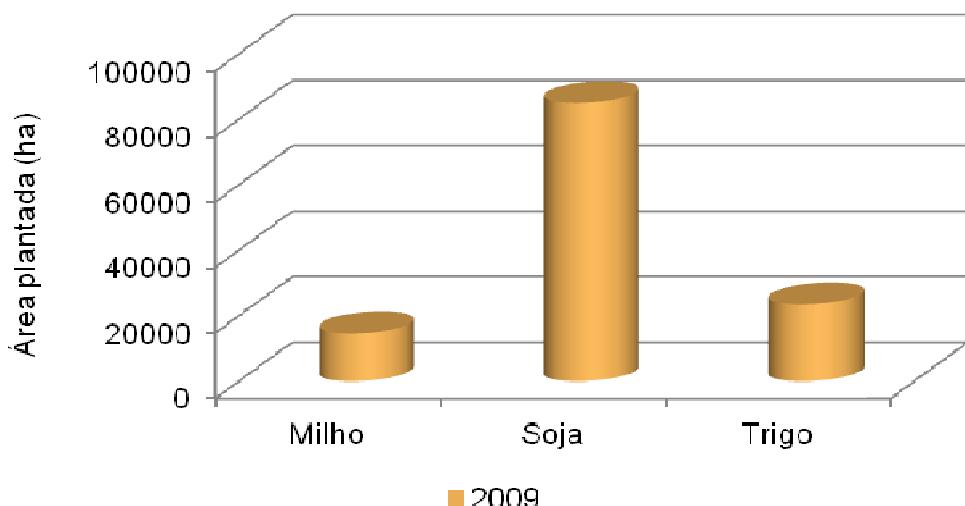
Na produção de lavouras temporárias destacam-se os cultivos de trigo no inverno, soja no verão, além do milho. Na Figura 12, podem ser observadas as áreas cultivadas com estas três culturas entre o ano de 1999 e 2009.



**Figura 12: Variação da área plantada com os três principais cultivos temporários (IBGE, SIDRA 2011).**

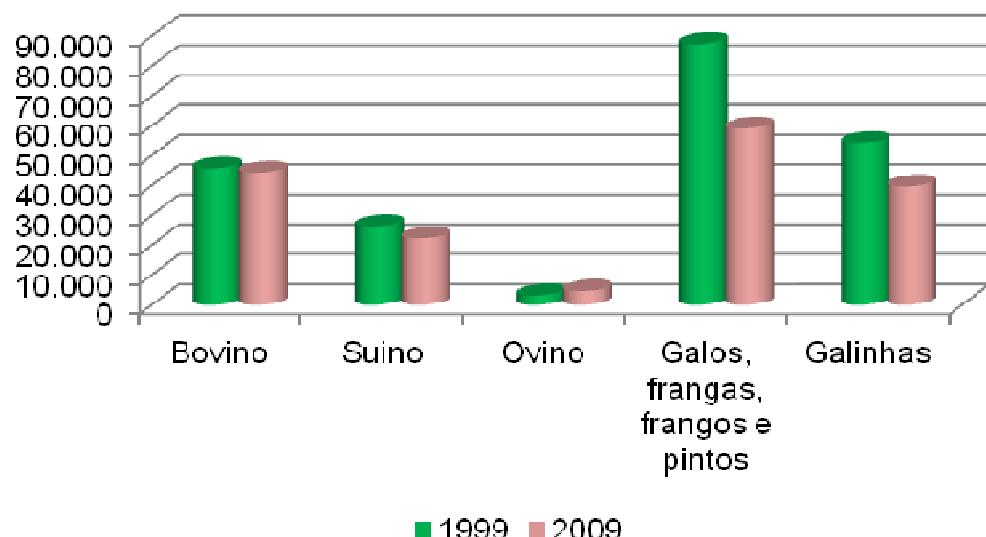
Dentre os três cultivos principais, o milho apresentou redução na área plantada, enquanto o trigo ganhou espaço; por outro lado, a soja se manteve como

principal cultivo (Figura 13) ao se considerar as áreas plantadas nos quatro municípios inseridos na bacia de contribuição.



**Figura 13:** Área plantada com os três principais cultivos temporários em 2009 (IBGE, SIDRA 2011).

Com relação à pecuária, destacam-se a criação de bovinos, suínos, ovinos, e aves (Figura 14). Entre os anos de 1999 e 2009, houve um pequeno aumento na população de ovinos, enquanto todos os outros apresentaram queda.



**Figura 14:** Principais rebanhos (IBGE, SIDRA 2011).

- Pivôs de irrigação: mesmo sendo uma área agrícola, os pivôs de irrigação foram mapeados separadamente devido a grande pressão que este tipo de

empreendimento possui sobre os recursos hídricos de uma bacia. Dentre as classes delimitadas, as áreas irrigadas apresentaram um considerável aumento no período analisado, em 1998, os pivôs de irrigação ocupavam uma área de 2,16 km<sup>2</sup>, este valor passou para 18,2 km<sup>2</sup> no mapeamento realizado com imagens de 2010. Segundo dados do censo agropecuário de 2006, apenas 6 hectares (0,06km<sup>2</sup>) de áreas irrigadas são utilizadas para a criação de bovinos nos municípios inseridos na bacia. O restante é destinado ao cultivo de lavouras temporárias (1.163ha), basicamente para a produção de soja. Apesar do censo agropecuário não coincidir com os anos mapeados, estes dados servem para apontar o tipo de cultivo beneficiado pela irrigação por pivôs.

#### **4.2 Qualidade da água**

Nos Quadros 12, 13 e 14, são apresentados os resultados dos parâmetros obtidos para os três pontos de coleta e que são utilizados no enquadramento dos corpos d'água nas classes determinadas pela Resolução do CONAMA 357/2005. As cores de cada resultado indicam as classes nas quais a amostra pode ser inserida. Como o intervalo para pH é o mesmo para todas as classes, os valores deste parâmetro não foram enquadrados em nenhuma classe; da mesma forma, os valores de fósforo e nitrato que estão em um intervalo comum a mais de uma classe.

Parâmetros Campanhas	Turbidez (NTU)	pH <sup>5</sup>	N-NO3 (mg/L)	P-PO (mg/L)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)
mar/99	17	6,98	13,83	ND <sup>6</sup>	7,20	2,78
jun/99	17	7,44	9,13	ND	7,70	0,58
set/99	19	7,43	18,94	ND	7,35	1,77
dez/99	11	7,04	0,940	ND	6,82	3,64
mar/00	40,3	6,32	3,147	0,003	8,20	0,8
jun/00	26,45	6,07	0,566	0,073	8,82	0,1
set/00	19,7	6,42	1,907	0,140	9,09	0,71
dez/00	29,2	6,68	<0,02	0,050	6,336	-
mar/01	16	7,51	0,240	0,096	8,80	0,8
set/01	23	6,88	2,698	0,103	8,30	0,7
abr/02	47	7,19	0,516	0,067	80	0,9
nov/02	91	6,64	0,236	0,045	7,20	0,5
mar/03	19	6,60	0,812	0,198	8,20	0,3
set/03	142	6,60	1,070	0,029	9,70	2,9
mar/04	152	6,41	0,235	0,006	8,00	0,8
mar/05	28,61	7,63	0,396	0,043	7,10	0,45
out/05	13,25	8,33	0,173	0,229	8,05	1,1
abr/06	14,08	7,96	0,418	0,256	9,08	0,2
set/06	23,33	7,99	2,895	0,698	9,95	3,2
mar/07	7,96	7,85	0,790	2,310	6,88	3,57
set/07	51,31	7,52	1,304	0,827	8,18	1,2
mar/08	13	7,31	0,320	ND	7,45	0,23
set/08	110	7,52	1,540	0,040	9,57	0,73
abr/09	14	7,93	0,210	0,090	7,31	0,21
out/09	17	7,85	0,500	0,030	7,74	0,84
abr/10	13	6,36	0,080	0,020	7,83	<1
out/10	15	7,43	0,380	0,020	8,11	ND
abr/11	23,12	7,93	0,590	0,080	6,50	ND

**Quadro 12: Dados de qualidade da água em P1 (Certhil, 1999 a 2011).**

Legenda:

Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
----------	----------	----------	----------

Ao analisar os dados de P1 observa-se que durante o período em apenas quatro amostras todos os parâmetros estiveram dentro dos limites estabelecidos para classe 1; destes três ocorreram a partir de 2008, ou seja, nove anos após serem iniciadas as atividades na PCH e, um em junho de 2009, logo após o início

<sup>5</sup> Os valores de pH e nitrato que estavam dentro dos valores citados pela Resolução do CONAMA 357/2005 e que são iguais para todas as classes não foram inseridos em nenhuma classe, visto que podem corresponder a qualquer uma das classes.

<sup>6</sup> Substância não detectada na análise

das operações. Ao considerar que os corpos d'água que não possuem enquadramento devem ser classificados como classe 2, verifica-se que em 13 coletadas o ponto apresentou características desta classe. Em todas as amostras os valores de pH apresentaram valores que estão dentro dos limites estabelecidos pela Resolução do CONAMA 357/2005 e, oxigênio dissolvido esteve dentro dos limites estabelecidos para classe 1 em todas as amostras. Já os parâmetros relativos à demanda bioquímica de oxigênio e turbidez apresentaram valores classificados como classe 2 em algumas amostras ao longo do período.

Por sua vez os nutrientes nitrato, no primeiro ano de funcionamento do reservatório, e fósforo, em diversos momentos, foram superiores aos maiores valores citados pela Resolução do CONAMA 357/2005.

No Quadro 13 são apresentados os valores obtidos nas amostras coletadas junto ao reservatório da PCH Buricá (P2).

Parâmetros	Turbidez (NTU)	pH	N-NO3 (mg/L)	P-PO (mg/L)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)
Campanhas						
mar/99	13	7,30	47,18	ND	8,35	2,29
jun/99	17	7,80	24,50	ND	7,72	1,59
set/99	21	7,09	11,00	ND	7,84	1,60
dez/99	17	6,71	1,270	ND	5,82	1,27
mar/00	48,06	6,48	3,303	0,004	7,50	0,20
jun/00	26,09	6,23	0,953	0,055	7,74	0,98
set/00	19,08	6,25	1,330	0,168	9,39	0,91
dez/00	35,4	6,85	<0,02	0,056	6,83	ND
mar/01	20	7,44	0,660	0,084	8,20	1,30
set/01	28	6,20	2,803	0,121	8,10	0,80
abr/02	33	7,10	1,182	0,026	7,80	1,60
nov/02	73	6,75	0,249	0,033	7,20	0,56
mar/03	18	6,88	1,005	0,219	8,20	0,90
set/03	154	6,59	0,761	0,029	9,00	1,6
mar/04	140	6,00	0,227	0,006	7,60	0,70
mar/05	29,22	7,20	0,299	0,063	8,00	1,69
out/05	13,62	7,96	0,161	0,195	7,60	0,70
abr/06	14,69	7,98	0,492	0,265	9,03	0,40
set/06	23,33	7,99	2,895	0,698	9,95	3,20
mar/07	7,38	7,76	1,014	1,758	6,73	3,57
set/07	45,98	7,54	1,536	0,613	7,92	1,70
mar/08	14	7,38	0,340	ND	7,25	0,80
set/08	120	7,42	1,880	ND	9,4	0,83
abr/09	14	7,93	0,210	0,090	7,31	0,21
out/09	15	7,73	0,510	0,020	7,37	0,28
abr/10	11	6,64	0,080	0,020	7,64	<1
out/10	17	7,39	0,380	ND	7,93	ND
abr/11	25,95	7,90	0,510	0,110	6,34	ND

**Quadro 13: Dados de qualidade da água em P2 (Certhil, 1999 a 2011).**

Neste local, cinco das amostras analisadas apresentaram valores que estão dentro dos limites da classe 1, destaca-se que todos os períodos com valores correspondentes a essa classe ocorreram a partir de 2008. A diferença entre P1 e P2 foi a ocorrência de valores mais altos na turbidez, chegando a classe 3, e a redução de oxigênio dissolvido que, em P2, apresentou valores correspondentes a classe 2. Em 18 análises os valores de OD no reservatório foram inferiores aos da montante. Por outro lado, da mesma forma que na montante, os valores de fósforo e

nitrogênio apresentaram valores elevados, chegando a classe 4 em diversos momentos.

No Quadro 14 são apresentados os resultados obtidos na amostra realizada junto à casa de máquinas da PCH.

Parâmetros	Turbidez (NTU)	pH	N-NO3 (mg/L)	P-PO (mg/L)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)
Campanhas						
mar/99	18	7,55	19,57	ND	8,56	3,80
jun/99	17	7,53	Sem dado	ND	6,74	0,80
set/99	18	6,48	2,670	ND	8,03	1,85
dez/99	17	7,04	1,760	ND	5,46	0,10
mar/00	50	6,57	2,469	0,005	6,9	0,50
jun/00	25,46	6,40	1,098	0,067	8,72	1,27
set/00	25,06	6,23	2,089	0,168	9,59	1,01
dez/00	55	6,38	0,040	0,050	6,435	ND
mar/01	20	7,40	0,820	0,120	8,2	0,40
set/01	28	6,93	1,430	0,103	7,6	0,50
abr/02	36	6,95	2,148	0,021	7,6	0,60
nov/02	96	6,62	0,216	0,047	7,3	0,60
mar/03	20	6,70	1,119	0,213	8,4	0,60
set/03	165	6,41	0,761	0,040	6,3	2,30
mar/04	163	6,72	0,210	0,019	7,8	0,80
mar/05	34,31	7,10	0,443	0,037	7,9	1,69
out/05	15,1	7,89	0,175	0,213	7,8	1,40
abr/06	16,27	7,94	0,478	0,181	8,92	0,40
set/06	26,04	7,73	3,927	0,568	10,4	2,10
mar/07	11,76	7,65	0,960	2,310	6,83	1,02
set/07	32,43	7,45	1,264	1,471	8,36	1,50
mar/08	13	7,33	0,290	ND	7,45	0,99
set/08	110	7,45	1,770	ND	9,36	0,62
abr/09	15	7,75	0,220	0,290	7,1	0,21
out/09	16	7,70	0,520	0,030	7,65	0,75
abr/10	11	6,79	0,080	0,030	7,64	<1
out/10	15	7,42	0,440	nd	7,93	Nd
abr/11	22,61	7,76	0,670	0,250	6,18	Nd

Quadro 14: Dados de qualidade da água em P3 (Certhil, 1999 a 2011).

Os resultados referentes às amostras realizadas na casa de máquinas, localizada a 1.095 metros a jusante do reservatório, apresentaram valores característicos da classe 1 em dez momentos; a aparente melhora dos resultados se deve, principalmente, à aceitação de valores maiores de fósforo em ambientes

lóticos. Ainda assim, como nos outros pontos de coleta os piores resultados são referentes a nitrogênio e fósforo.

### Condutovidade elétrica

Ao analisar os dados de condutividade elétrica dos três pontos amostrados observa-se que os maiores valores ocorreram entre setembro de 2001 e março de 2003, ultrapassando 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , em três das quatro amostras do período (Figura 14).

Apesar da unidade hidrográfica Turvo - Santa Rosa - Santo Cristo possuir um regime pluviométrico bem distribuído ao longo do ano, com uma média de 150 mm de chuva mensais, com variação máxima de mais ou menos 50 mm de precipitação (FEPAM, 2004); Prado (2004) e Esteves (2011) apontam que os valores de condutividade elétrica tendem a apresentar valores levemente mais elevados em períodos chuvosos. Conforme consta na análise do parâmetros (CERTHIL, 2004) após um longo período de estiagem, ocorreu chuva no dia anterior a coleta da água, o que pode ter carreado grande quantidade de sedimentos para o rio/reservatório. Para uma realizar uma análise mais detalhada da relação entre precipitação e os parâmetros de qualidade, seria importante obter os dados de precipitação do período, contudo, apesar desses dados terem solicitados ao Instituto Nacional de Meteorologia, os mesmos não foram recebidos a tempo.

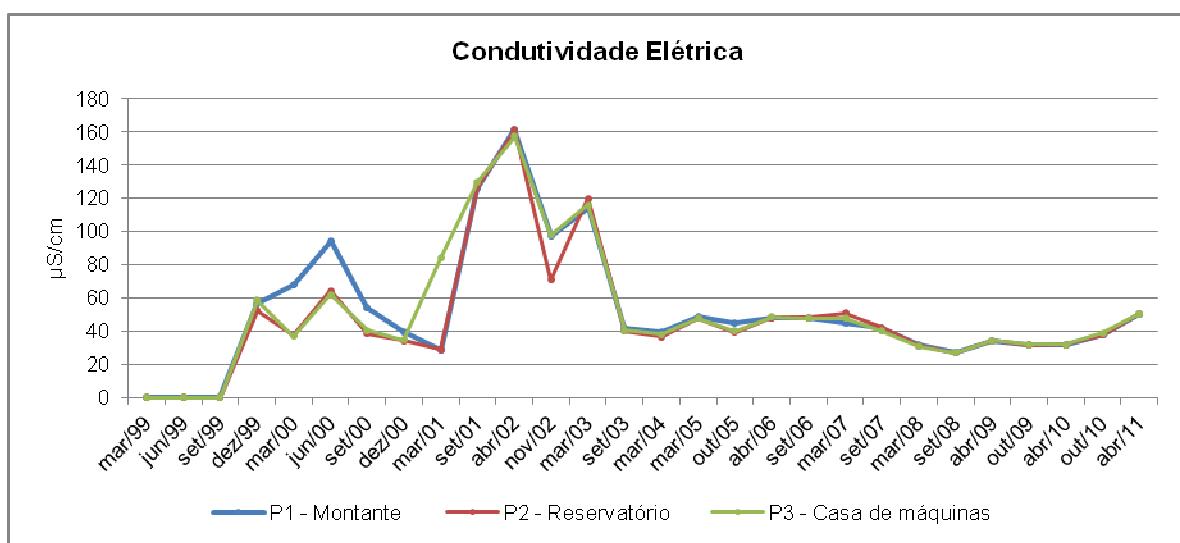


Figura 15: Gráfico com os valores de condutividade elétrica.

Mesmo não analisando todas as concentrações iônicas do lago, ao verificar o gráfico de tendência da condutividade elétrica (Figura 16), observa-se que os valores deste parâmetro apresentam tendência de decréscimo nos três pontos de coleta. Contudo, apesar da tendência de diminuição da condutividade elétrica, as últimas três amostras apresentaram valores crescentes; ou seja, com o tempo, esse parâmetro pode ter uma mudança de tendência.

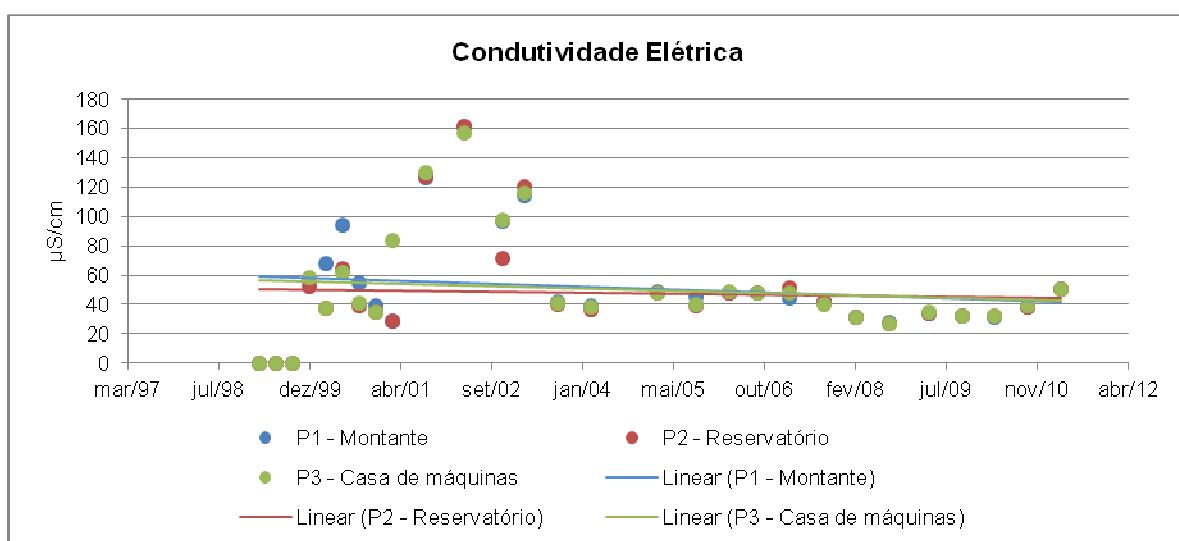
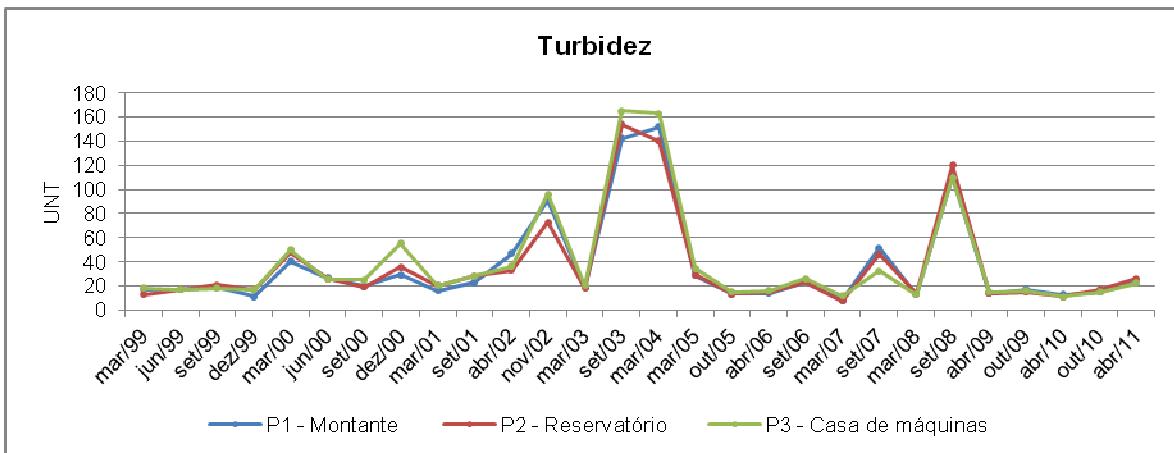


Figura 16: Gráfico de tendência da condutividade elétrica.

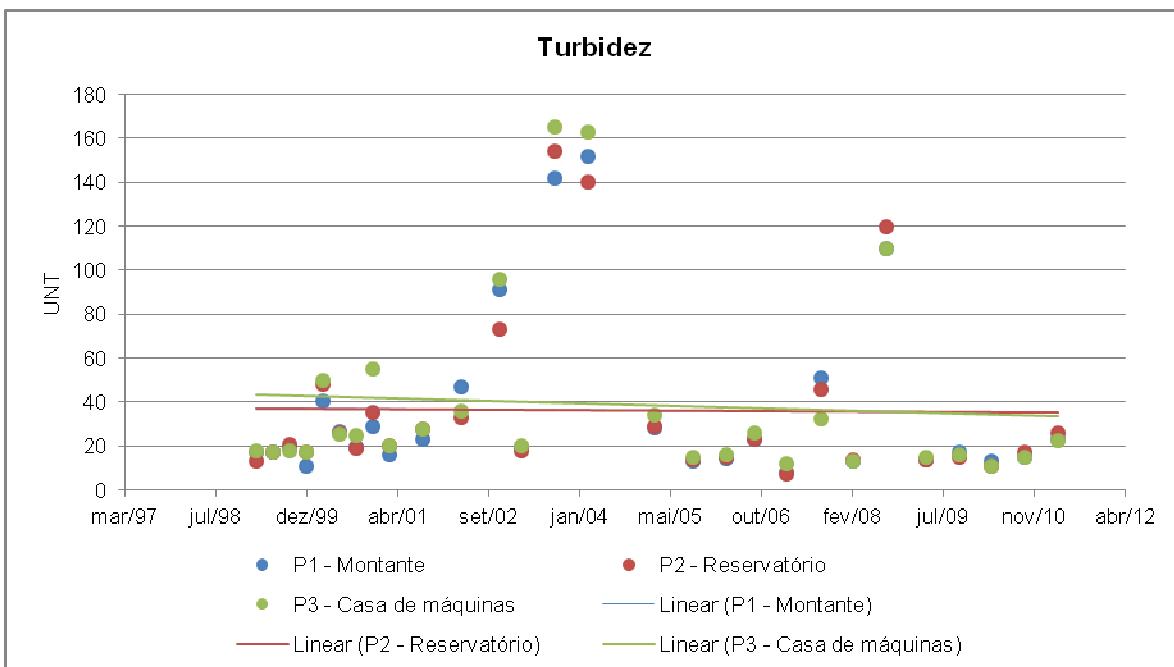
### Turbidez

Os maiores valores relativos à turbidez ocorreram em setembro de 2003, março de 2004 e setembro de 2008 indicando presença de grande quantidade de sedimentos suspensos nos pontos de coleta (Figura 17). Apesar de apresentarem os mais altos valores, amostras de 2003 e 2004 foram coletadas em condições meteorológicas bastante diferentes, na primeira consta que o nível da água está baixo na data de coleta, por outro lado, em 2004 a coleta é feita após a ocorrência de chuva, indicando o transporte de material por escoamento superficial. Na amostra referente ao ano de 2008, não são citadas as condições meteorológicas, nem de nível da água no reservatório.



**Figura 17: Gráfico com os valores de turbidez.**

Ao analisar o gráfico de tendência (Figura 18), conclui-se que o mesmo se manteve praticamente estável em P1 e P2, apresentando sensível redução em P3. Esta mudança em P3 pode estar relacionada a mudança de velocidade da água provocada pelo barramento, o que leva a deposição de materiais que chegam ao reservatório e que, provavelmente, serão depositados no local, fazendo com que haja uma redução na quantidade de material suspenso a jusante do reservatório.



**Figura 18: Gráfico de tendência da turbidez.**

## pH

Em todas as amostras obtidas os valores de pH estiveram entre o intervalo de 6 a 9 (Figura 19). Os menores valores acorreram em março 2004, ficando próximos ao limite mínimo estabelecido pela Resolução do CONAMA 357/2005. Prado (2004), ao analisar este parâmetro em estações seca e chuvosa, constatou que os menores valores em superfície ocorreram na estação seca. Na PCH Buricá, o menor valor do pH também ocorreu em um período de estiagem, o que pode estar relacionado a menor entrada de nutrientes por escoamento superficial.

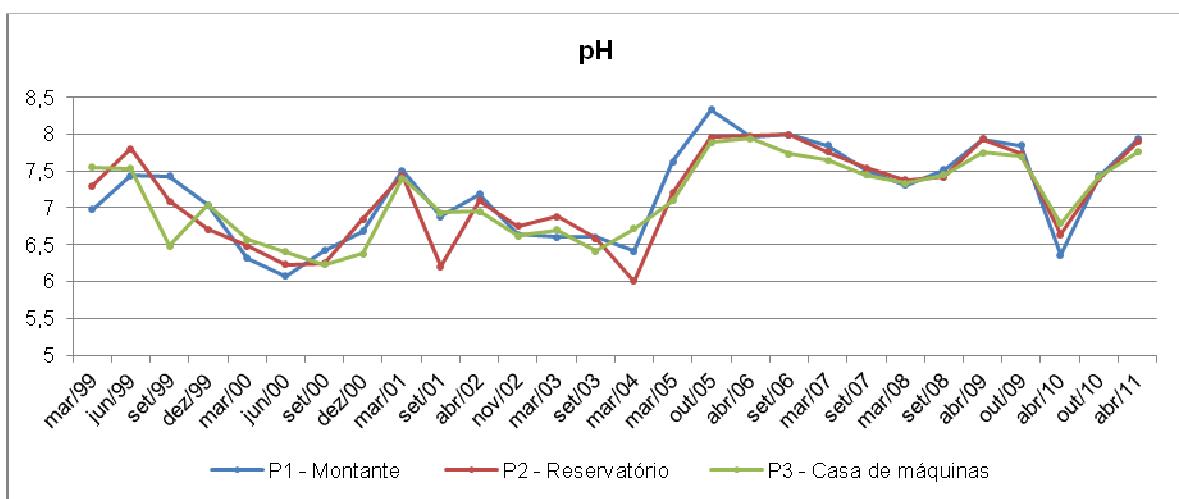


Figura 19: Gráfico com os valores de pH.

Ao longo do tempo este parâmetro apresentou tendência de aumento, ou seja, o lago foi ficando menos ácido (Figura 20).

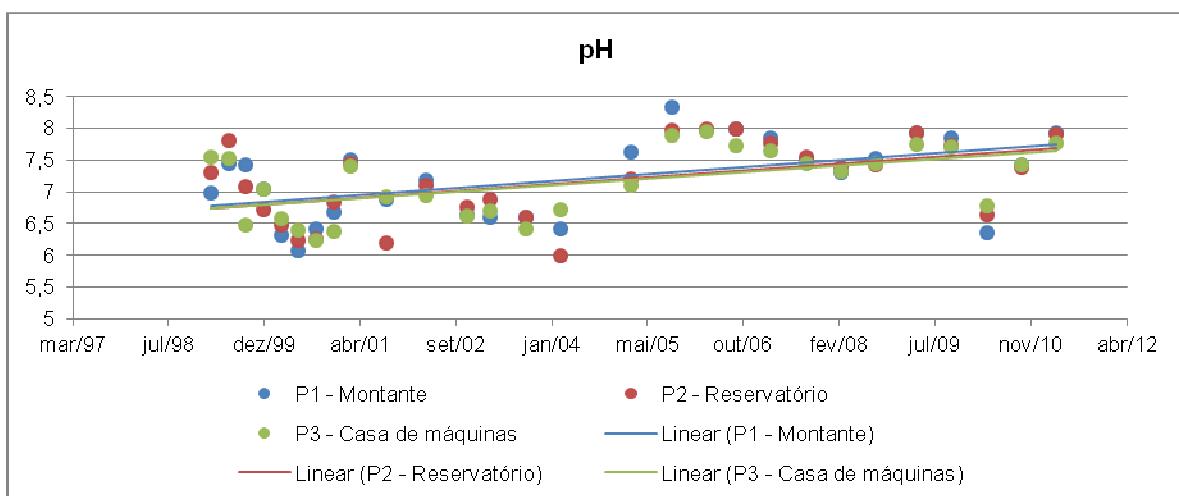
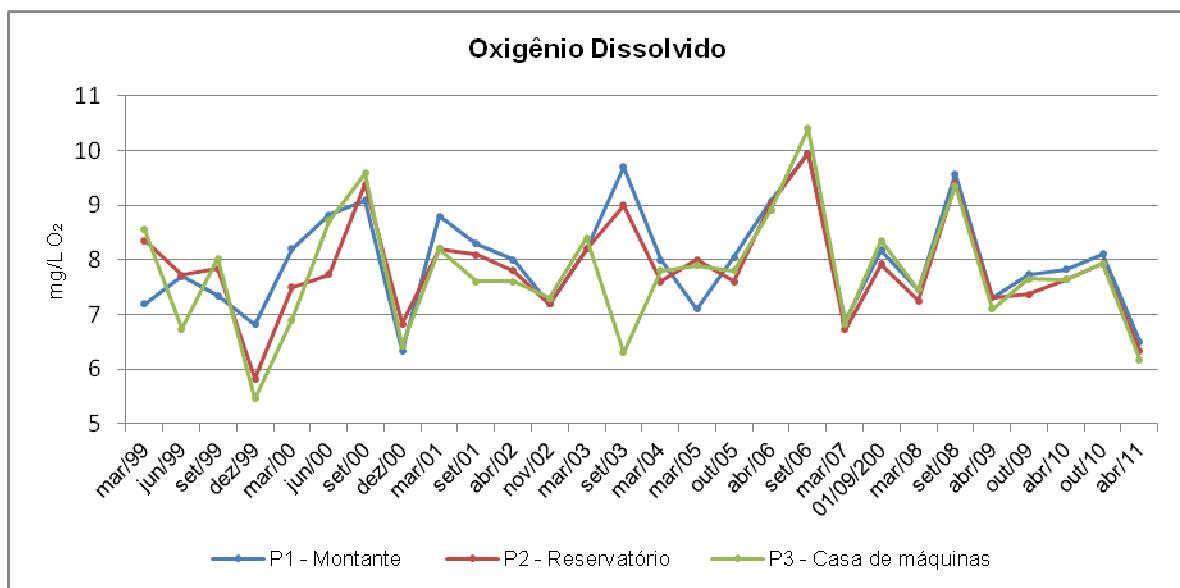


Figura 20: Gráfico de tendência do pH.

## Oxigênio Dissolvido

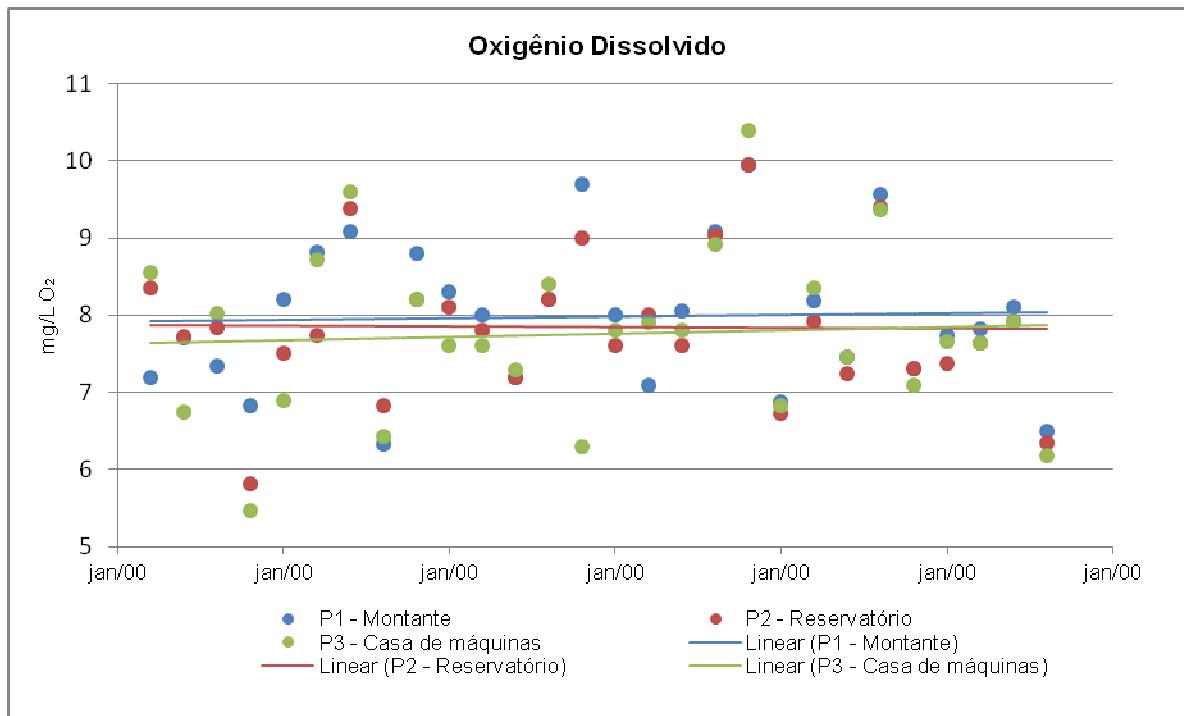
A maioria das amostras apontou valores de OD dentro dos limites estabelecidos para a classe 1, apresentando grande variabilidade ao longo dos anos analisados (Figura 21). Os piores resultados ocorreram no verão de 1999, ano de instalação da PCH; na referida análise, os valores de OD ficaram abaixo de 6mg/L em P2 e P3.

Estes valores podem estar associados a entrada de cargas orgânicas no reservatório, inferido pelo DBO elevada em P1, associada às altas temperaturas, típicas do período. De acordo com Esteves (2011), estes dois fatores contribuem decisivamente para o grau de desoxigenação da água.



**Figura 21: Gráfico com os valores de Oxigênio Dissolvido.**

No gráfico de tendência pode ser observado que os pontos P1 e P3 apresentaram sensível aumento de OD durante o período analisado; por outro lado, o reservatório (P2) apresentou tendência de redução no oxigênio dissolvido (Figura 22). Essa redução em P2 pode estar associada a residência da água no local, uma vez que em águas paradas podem ocorrem temperaturas maiores e menor quantidade de trocas de oxigênio entre a água e o ar.



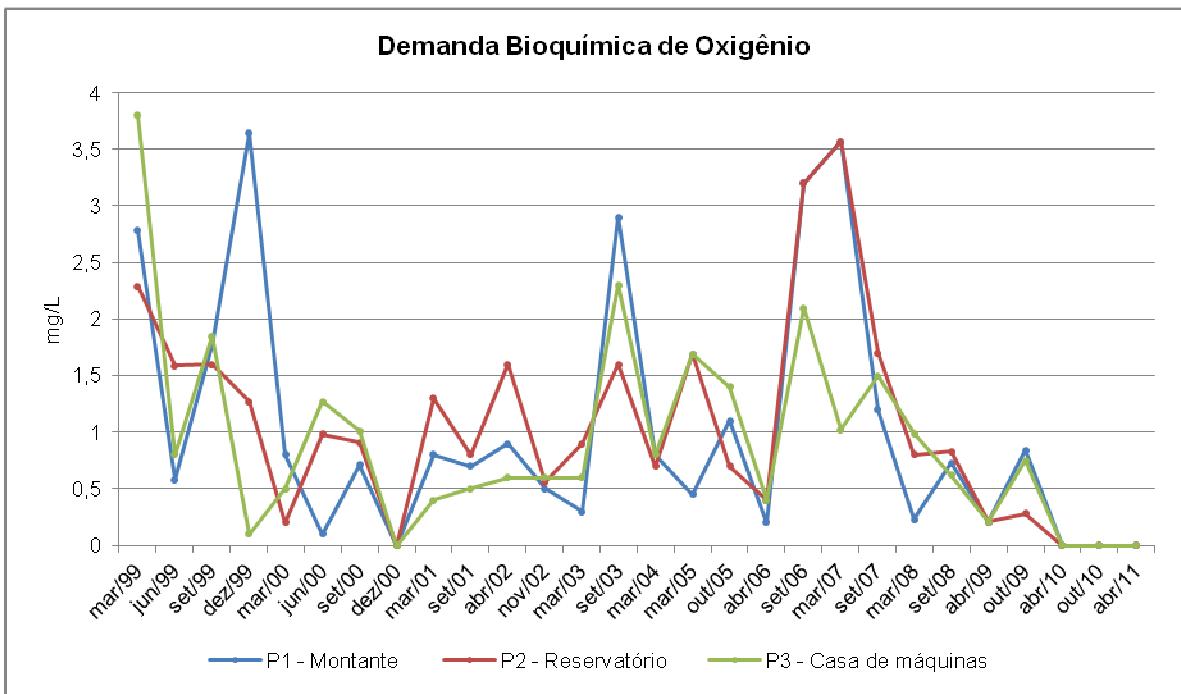
**Figura 22: Gráfico de tendência do Oxigênio Dissolvido.**

### Demanda Bioquímica de Oxigênio

Ao longo do período analisado os maiores valores desse parâmetro ocorreram no primeiro ano de funcionamento da PCH, em março de 2003, setembro de 2006 e março de 2007 (Figura 23). No primeiro caso, a ocorrência de valores mais altos pode estar relacionada à decomposição de matéria orgânica, proveniente dos restos da cobertura vegetal da área alagada, pois, apesar dessa área ter sido desmatada, é provável que tenham sido removidas folhas e pequenos galhos do local onde se formou o reservatório.

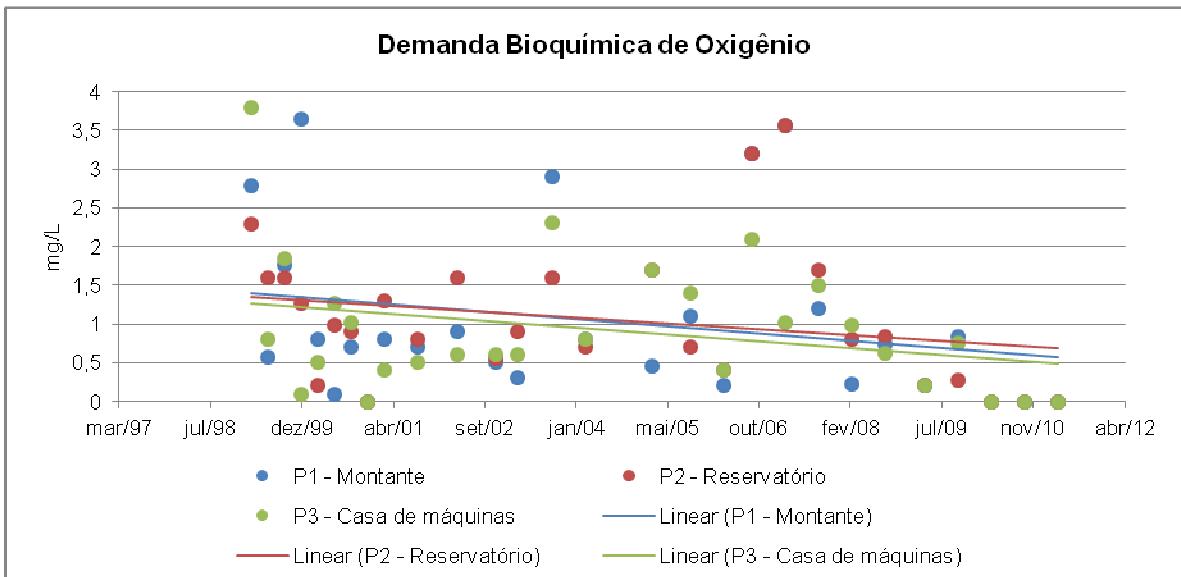
Já em 2003, segundo consta na análise, na data de coleta o nível da água estava baixo, o que pode ser indicativo de estiagem, fator este que pode ter influenciado na DBO.

Nas coletas referentes a setembro de 2006 e março de 2007, não há informação que permita inferir sobre a ocorrência ou não de estiagem, contudo esses valores mais elevados coincidiram com os maiores valores de fósforo registrados no local. Dessa forma, o aumento na DBO pode ter ocorrido devido a um aumento da atividade biológica provocada pela elevação dos nutrientes no reservatório.



**Figura 23: Gráfico com os valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio.**

Ao analisar o gráfico de tendência da DBO, observa-se que os três pontos apresentam tendência de redução desse parâmetro, sendo que a menor redução ocorreu em P2 (Figura 24).



**Figura 24: Gráfico de tendência da Demanda Bioquímica de Oxigênio.**

## Nitrato

No primeiro ano de funcionamento da PCH os três pontos de coleta apresentaram valores elevados de nitrato (Figura 25), ocorrendo em alguns momentos valores bastante acima dos citados na Resolução do CONAMA 357/2005, e dos Valores Máximos Permitidos (VPM) pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

Figueiredo (2007) estudou o período de enchimento e estabilização de dois reservatórios e apontou que houve incremento de compostos nitrogenados em ambos os reservatórios durante as fases analisadas. Segundo a autora, estas alterações se devem aos processos de mineralização dos restos de matéria orgânica na área inundada.

Na PCH Buricá após primeiro ano de valores bastante altos, os valores de nitrato apresentaram tendência de redução, ficando relativamente estáveis nos períodos pós 2000.

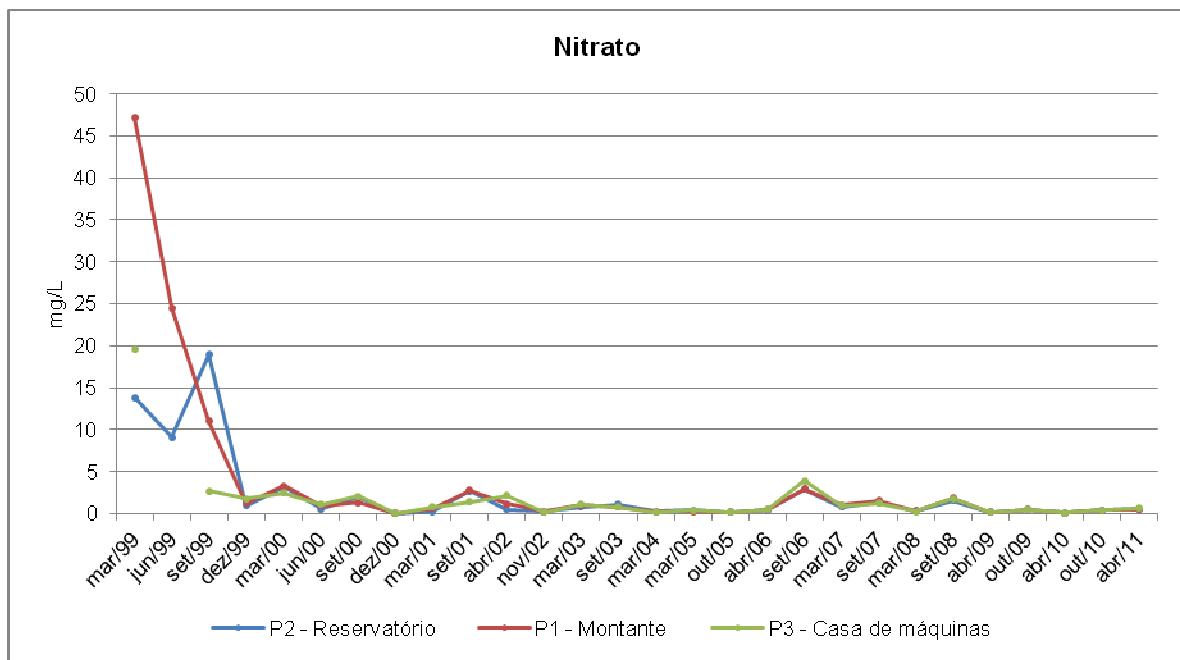
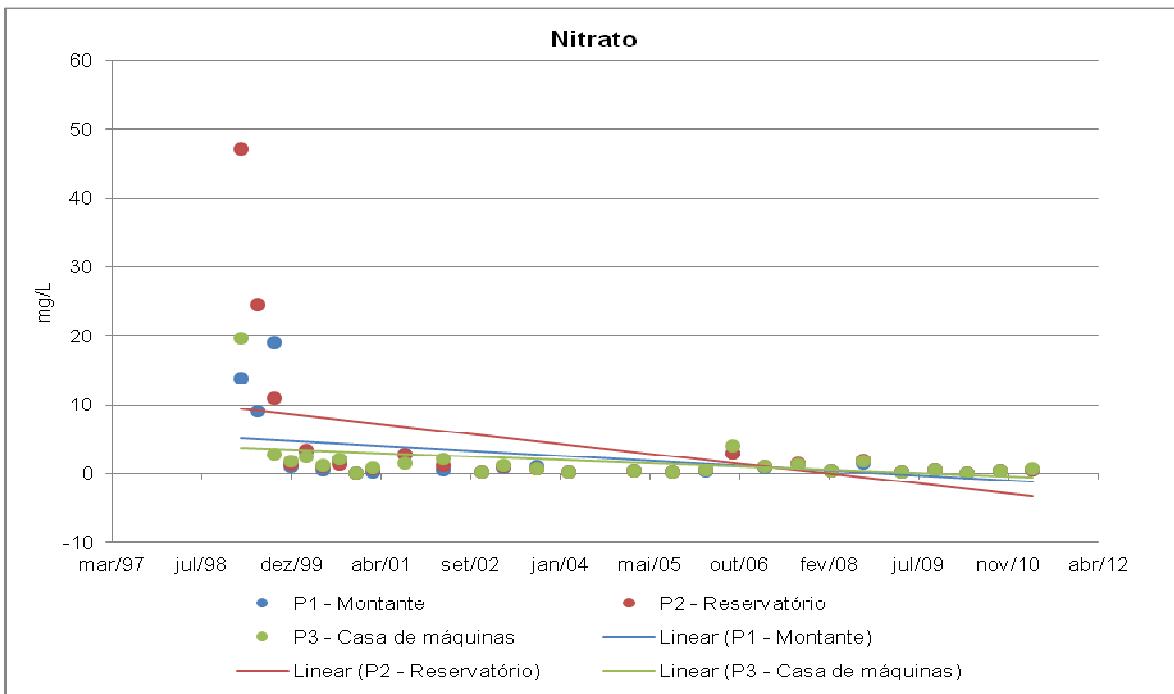


Figura 25: Gráfico com os valores de Nitrato.

A redução dos valores após o primeiro ano de funcionamento do reservatório reflete no gráfico de tendência, o qual mostra que as concentrações desse parâmetro tenderam a diminuir no período analisado (Figura 26).



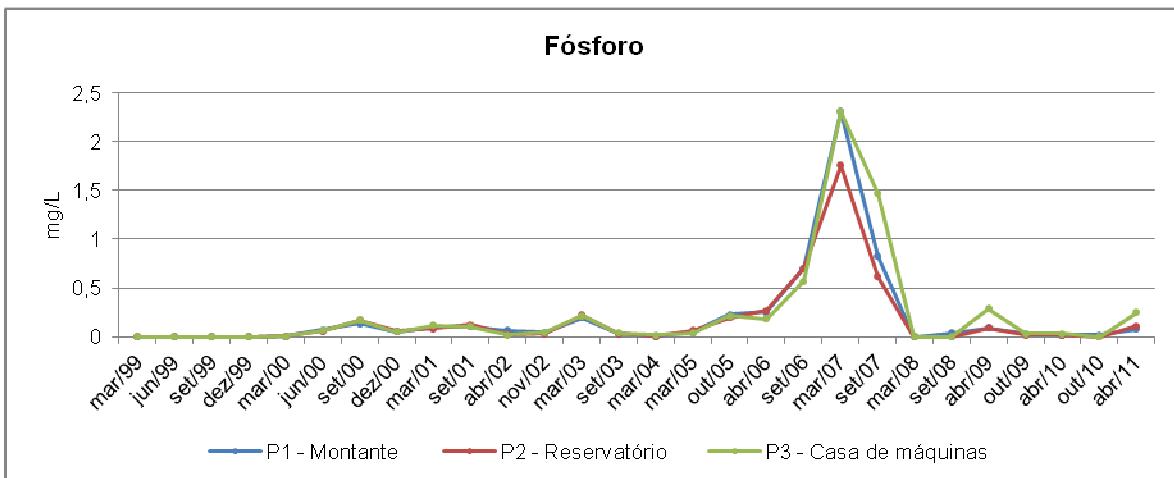
**Figura 26: Gráfico de tendência de Nitrato.**

## FÓSFORO

O fósforo apresentou valores elevados em diversas análises, sendo que os piores valores ocorreram entre outubro de 2005 e setembro de 2007 (Figura 27). Apesar do parecer técnico contido nas análises apontar que os valores desse parâmetro estão acima do recomendado pela Resolução do CONAMA 357/2005, não há referência sobre as possíveis causas para a ocorrência desses valores, além disso, também não são feitas referências às condições meteorológicas nas datas das coletas em destaque.

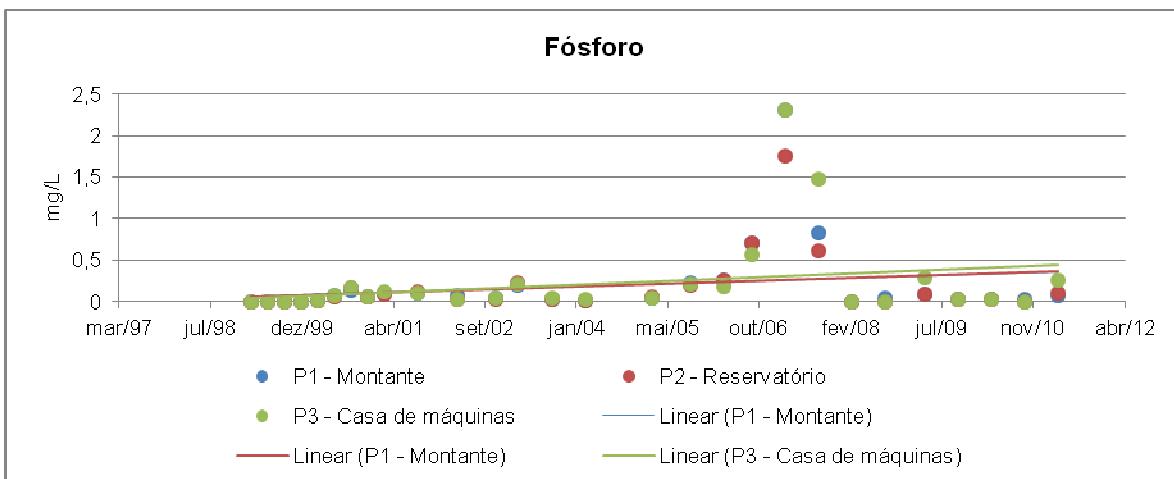
Estes valores podem estar relacionados a fatores naturais, como erosão de rochas que contém este elemento ou devido a contribuições por fontes antrópicas, tais como, esgotos domésticos ou fertilizantes fosfatados (ESTEVES, 2011).

Pelo fato da bacia de contribuição ter as condições naturais bastante modificadas e por ocorrer um pico em meio a valores menos elevados, a tendência é que essa variação tenha ocorrido devido a influências antrópicas.



**Figura 27: Gráfico com os valores de Fósforo.**

Dentre os parâmetros analisados o fósforo pode ser considerado o que apresenta valores mais preocupantes ao longo do tempo, uma vez que há tendência de aumento ao longo dos anos estudados (Figura 28). Destaca-se que apesar da tendência de elevação, houve uma melhora nos valores correspondentes às coletas feitas entre 2009 e 2010, contudo em 2011 houve um novo aumento.



**Figura 28: Gráfico de tendência de Fósforo.**

#### 4.2 Potencial de eutrofização no reservatório

No Quadro 15 são apresentados os resultados referentes à avaliação do potencial de eutrofização do reservatório, foram excluídos os períodos em que o fósforo não foi detectado em nenhuma das amostras coletadas no lago.

Campanhas	Montante	Reservatório
Mar/00	49	51
Jun/00	68	67
Set/00	72	73
Dez/00	66	67
Mar/01	70	69
Set/01	70	71
Abr/02	68	62
Nov/02	65	63
Mar/03	74	75
Set/03	63	63
Mar/04	53	53
Mar/05	65	67
Out/05	75	74
Abr/06	76	76
Set/06	82	82
Mar/07	89	88
Set/09	83	81
Set/08	65	ND
Abr/09	70	70
Out/09	63	60
Abr/10	60	60
Out/10	60	ND
Abr/11	69	71

**Quadro 15: Potencial de eutrofização do reservatório.**

Legenda	
Ultraoligotrófico	Eutrófico
Oligotrófico	Supereutrófico
Mesotrófico	Hipereutrófico

Na maioria das análises realizadas o reservatório apresenta potencial para ser classificado como supereutrófico ou hipereutrófico, ou seja, apresenta enriquecimento por este nutriente, capaz de sustentar uma alta produtividade de algas ou até mesmo infestação por macrófitas aquáticas. Em apenas duas amostras os valores de fósforo ocorridos no reservatório seriam responsáveis por produtividade baixa ou intermediária. Observa-se que na maior parte do período os dois pontos apresentaram resultados semelhantes para o potencial de eutrofização.

Além do fósforo, os valores de nitrogênio, a temperatura do reservatório e a turbidez também influenciam na atividade biológica do lago (LAMPARELLI, 2004).

Portanto, para fazer uma análise do nível trófico do reservatório seria necessário obter informações sobre clorofila, uma vez que este parâmetro é um dos principais responsáveis pela fotossíntese e pode dar indicações da biomassa e produtividade do fitoplâncton presente no reservatório e, consequentemente, do estado trófico do mesmo (PRADO, 2004).

#### **4.3 Possíveis influências do uso do solo na qualidade das águas do reservatório**

Utilizando os valores obtidos através da classificação de uso do solo e da estimativa da população na bacia de contribuição, chegou-se aos valores apresentados no Quadro 16, para as contribuições de fósforo na bacia de contribuição, referente ao ano de 2010.

Fonte	Tipo	Valores na bacia (área: Km <sup>2</sup> e população: número de habitantes)	Estimativa de contribuição por fósforo	Unidade
Drenagem	Áreas de matas e florestas	88,64	886,40	Kg P /ano
	Áreas agrícolas	447,15	22.357,50	Kg P/ano
	Áreas urbanas	1,06	106	Kg P/ano
Esgotos	Domésticos	4.472,00	4.472,00	Kg P/ano

**Quadro 16: Estimativa das contribuições de fósforo, por atividade, na bacia de contribuição.**

Pela grande área ocupada por atividades agropecuárias na bacia de contribuição do reservatório, os altos valores de fósforo obtidos provavelmente estão relacionados a fontes difusas, principalmente agrícolas.

Esteves (2011) destaca que em áreas com efluentes agropastoris, as contribuições por excrementos de ruminantes, como gado bovino, tem efeitos reduzidos na alteração dos níveis de trofia uma vez que os excrementos desses animais não apresentam concentrações altas de nitrogênio e fósforo, assim, apenas grandes populações de ruminantes podem possuir importância significativa na alteração dos níveis de trofia. Já criações de suínos e aves podem apresentar um impacto maior neste quesito. Além disso, a atividade agrícola pode ser considerada como uma das principais fontes de fosfato e nitrogênio para ecossistemas lacustres,

devido ao uso intensivo de fertilizantes nitrogenados e fosfatados como meio de incrementar a produção agrícola.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

---

A seguir são apresentadas as principais conclusões levantadas neste estudo:

- O uso de técnicas de geoprocessamento para o mapeamento da área de estudo mostrou-se bastante satisfatório, uma vez que, praticamente sem nenhum custo e de forma bastante rápida foi possível estimar os valores de cada classe uso e cobertura do solo.
- Ao analisar os mapas de uso do solo, observa-se que as características naturais da bacia já estavam bastante alteradas por atividades antrópicas antes da instalação do reservatório, sendo que a maior área ocupada corresponde à classe agropecuária. As principais alterações ocorridas no período se referem a um considerável aumento das áreas irrigadas por pivôs, o que causa um aumento da pressão sobre os recursos hídricos na bacia de contribuição do reservatório.
- Apesar da mudança de ambiente provocada pela instalação do reservatório parâmetros como pH, OD e DBO apresentaram resultados bastante satisfatórios ao longo do período, apresentando valores correspondentes a classe 1, na maioria das amostras.
- As análises de NO<sub>3</sub>, referentes ao primeiro ano de funcionamento da PCH, apresentaram resultados preocupantes, uma vez o consumo de água com elevados concentrações de nitrato pode causar efeitos adversos a saúde. Contudo, a partir de 2000, houve redução e estabilização dos valores desse parâmetro nos três pontos de coleta ficando, a partir daí, dentro dos valores recomendados pela legislação vigente.
- O OD apresentou tendência de degradação em P2 ao longo do período. Por outro lado, P1 e P3 apresentaram tendência de aumento de OD, ou seja, nestes dois pontos a tendência foi de mudança positiva, enquanto P2 apresentou características de degradação da qualidade no local, ao se considerar o oxigênio dissolvido.
- Fósforo foi o parâmetro que apresentou maior tendência à degradação. Em diversas análises, os resultados desse parâmetro corresponderam a valores enquadrados como classe 4, ou seja, águas úteis apenas à navegação e

harmonia paisagística, o que comprometeria os usos múltiplos do reservatório em questão.

- Por possuir influência direta na alteração dos níveis tróficos, os valores elevados de fósforo fazem com que haja potencial para que ocorram níveis tróficos bastante elevados no reservatório, o que pode levar a floração de algas, mortandade de peixes, dificultar a manutenção os usos múltiplos do reservatório e interferir negativamente nas atividades ribeirinhas.
- Ao estimar as contribuições de fósforo por tipo de uso na bacia, conclui-se que a principal fonte está relacionada a atividades agropecuárias, provavelmente fertilizantes fosfatados que podem chegar ao reservatório através do escoamento superficial.

## **REFERÊNCIAS**

---

- ANA. Portal da Qualidade das Águas:** Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas, 2009a. Disponível em: <[http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx#\\_ftnref8](http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx#_ftnref8)>. Acesso em: 30 out. 2011.
- ANA. Portal da Qualidade das Águas:** Indicadores de Qualidade - Índice do Estado Trófico, 2009b. Disponível em: <[http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx#\\_ftnref8](http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx#_ftnref8)>. Acesso em: 30 out. 2011.
- ANEEL. Resolução 652, de 9 de dezembro de 2003a.** Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: [www.aneel.gov.br/cedoc/res2003652.pdf](http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003652.pdf). Acesso em: 22 out. 2011
- ANEEL . Guia do empreendedor de pequenas centrais hidrelétricas.** Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília: ANEEL, 2003b. 704 p.
- ANEEL. Banco de Informações de Geração.** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/15.htm>. Acesso em 19 jun. 2011.
- BOLSTAD, Paul. GIS fundamentals: A first Text on Geographic Information Systems. 3. ed. White Bear Lake: Eider Press, 2008.
- BOTELHO, Rosangela; SILVA, Antonio. Bacia Hidrográfica e qualidade Ambiental. In: VITTE, Antonio; GUERRA, Antonio. **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. Cap. 6, p. 153-192.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Presidência da República: Casa Civil. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/l9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/l9433.htm). Acesso em 03 jul. 2011.
- CÂMARA, Gilberto; DAVI, Clodoveu. Introdução ao Geoprocessamento.** Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap1-introducao.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2011.
- CERTHIL. Cooperativa de Energia e Desenvolvimento Rural de Entre Rios Ltda. Avaliação Físico-Química.** Três de Maio, 1999. 4 p.
- CERTHIL. Cooperativa de Energia e Desenvolvimento Rural de Entre Rios Ltda. Avaliação Físico-Química.** Três de Maio, 2000. 4 p.
- CERTHIL. Cooperativa de Energia e Desenvolvimento Rural de Entre Rios Ltda. Avaliação Físico-Química.** Três de Maio, 2001. 2 p.
- CERTHIL. Cooperativa de Energia e Desenvolvimento Rural de Entre Rios Ltda. Avaliação Físico-Química.** Três de Maio, 2002. 2 p.

CERTHIL. Cooperativa de Energia e Desenvolvimento Rural de Entre Rios Ltda. **Avaliação Físico-Química**. Três de Maio, 2003. 2 p.

CERTHIL. Cooperativa de Energia e Desenvolvimento Rural de Entre Rios Ltda. **Avaliação Físico-Química**. Três de Maio, 2004. 1 p.

CERTHIL. Cooperativa de Energia e Desenvolvimento Rural de Entre Rios Ltda. **Avaliação Físico-Química**. Três de Maio, 2005. 2 p.

CERTHIL. Cooperativa de Energia e Desenvolvimento Rural de Entre Rios Ltda. **Avaliação Físico-Química**. Três de Maio, 2006. 2 p.

CERTHIL. Cooperativa de Energia e Desenvolvimento Rural de Entre Rios Ltda. **Avaliação Físico-Química**. Três de Maio, 2007. 2 p.

CERTHIL. Cooperativa de Energia e Desenvolvimento Rural de Entre Rios Ltda. **Avaliação Físico-Química**. Três de Maio, 2008. 6 p.

CERTHIL. Cooperativa de Energia e Desenvolvimento Rural de Entre Rios Ltda. **Avaliação Físico-Química**. Três de Maio, 2009. 6 p.

CERTHIL. Cooperativa de Energia e Desenvolvimento Rural de Entre Rios Ltda. **Avaliação Físico-Química**. Três de Maio, 2010. 12 p.

CERTHIL. Cooperativa de Energia e Desenvolvimento Rural de Entre Rios Ltda. **Avaliação Físico-Química**. Três de Maio, 2011. 3 p.

**CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo:** IET – Índice do Estado Trófico. São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/04.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2011.

**CETESB. Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo:** Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem. Apêndice A, 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/variaveis.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2011.

**CHNR. Resolução 91, de 05 de novembro de 2008.** Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: [http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com\\_content&view=article&id=14](http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=14). Acesso em 27 nov. 2011.

**CONAMA. Resolução 01, de 23 de janeiro de 1986.** Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Acesso em 11 jun. 2011.

**CONAMA. Resolução 20, de 18 de junho de 1986.** Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html>. Acesso em 10 jul. 2011.

**CONAMA. Resolução 357, de 17 de março de 2005.** Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em 10 jul. 2011.

ESTEVES, Francisco de Assis (Org.). **Fundamentos de Limnologia.** 3<sup>a</sup> Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

**FEFAM. PNMA II:** Monitoramento da Qualidade das Águas na Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo, Região Hidrográfica do Uruguai/RS, como subsídio à gestão de recursos hídricos e ao controle ambiental. Porto Alegre, 2004. Disponível em: <[http://www.fepam.rs.gov.br/programas/monitoramento\\_uru.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/programas/monitoramento_uru.asp)>. Acesso em: 24 set. 2011.

**FIGUEIREDO, Daniela Maimoni de.** **Padrões limnológicos e do fitoplâncton nas fases de enchimento e estabilização dos reservatórios do APM Manso e AHE Jauru (Estado do Mato Grosso).** 270 f. Tese (Doutorado) – UFSCar, São Carlos, 2008.

**FONSECA, Gizele A.** **Contribuição Antrópica na Poluição de Reservatórios Hidrelétricos: O Caso Da Usina Hidrelétrica De São Simão - GO/MG.** 2010. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Ufrj, Rio de Janeiro, 2010.

IBGE. **Censo Demográfico.** 2000. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\\_Demografico\\_2000/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2000/). Acesso em: 09 out. 2011.

IBGE. **Manual técnico do uso da terra.** Rio de Janeiro: IBGE, 2006a. Disponível em:<<ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursosnaturais/usodaterra/manualusodateira.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2011.

IBGE. **Censo Agropecuário.** 2006b. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtml>. Acesso em: 09 out. 2011.

IBGE. **Censo Demográfico.** 2010. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\\_Demografico\\_2010/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/). Acesso em 09 out. 2011.

LAMPARELLI, Marta Condé. **Graus de Trofia em Corpos d'água do Estado de São Paulo:** Avaliação de Métodos de Monitoramento. 235 f. Tese (Doutorado) - USP, São Paulo, 2004.

INPE. **Catálogo de Imagens.** Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 02 out. 2011.

MELO, Geórgia. LIMA, Anecléia. SILVA, Lucílio. **Gestão integrada e participativa dos recursos hídricos no contexto da Lei 9.433/97.** In: Âmbito Jurídico, Rio Grande, 79, 01/08/2010 [Internet]. Disponível em: [http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n\\_link=revista\\_artigos\\_leitura&artigo\\_id=8246](http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=8246). Acesso em 10 jul. 2011.

MEZOMO, Águeda. **A qualidade das águas como subsídio para gestão ambiental**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2009. 209 f.: il.

MOREIRA, Maurício A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: Editora UFV, 2005. 421p.

PRADO, Rachel. **Geotecnologias aplicadas à analise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos**. 2004. 172 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, São Carlos, 2004.

PINTO, Nelson et al. **Hidrologia Básica**. 11. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2008. 278 p.

ROSA, Roberto. **Geotecnologias na geografia aplicada**. Revista do Departamento de Geografia –FFLC - USP, São Paulo, n. 16, p.81-90, 2005. Disponível em: <<http://citrus.uspnet.usp.br/rdg/ojs/index.php/rdg/article/view/55>>. Acesso em: 04 dez. 2011.

REBOUÇAS, Aldo; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José. **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 3ª São Paulo: Escrituras Editora, 2006. 748 p.

SETTI, Arnaldo Augusto et al. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000. 207 p.

SHARPLEY, Andrew; FOY, Bob; WITHERS, Paul. Practical and innovative measures for the control of agricultural phosphorus losses to water: an overview. **Journal Of Environmental Quality**, Jan/Feb 2000. v. 29 (1), p. 1-9. Disponível em: <<http://ddr.nal.usda.gov/dspace/handle/10113/19023>>. Acesso em: 30 nov. 2011.

SILVA, Henrique Luvison Gomes da. **Modelagem Bidimensional do Fósforo com Vistas a Gestão de Bacias Hidrográficas – Estudo de Caso: Reservatório de Fiú, Paraná**. 113 f. Dissertação (Mestrado) - UFPR, Curitiba, 2006.

TOLEDO, Luís Gonzaga de; NICOLELLA, Gilberto. **ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA EM MICROBACIA SOB USO AGRÍCOLA E URBANO**. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p.181-186, mar. 2002. Trimestral. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v59n1/8092.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2011.

TRENTIN, Aline et al. **Caracterização Espectral das Águas do Reservatório Passo Real – RS/Brasil**. In: EGAL, 12., 2009, Montevidéu. Disponível em: <[http://egal2009.easyplanners.info/area04/4014\\_Biasoli\\_Trentin\\_Aline.pdf](http://egal2009.easyplanners.info/area04/4014_Biasoli_Trentin_Aline.pdf)>. Acesso em: 04 dez. 2011.

TUCCI, Carlos (Org.). **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2007. TUNDISI, José et al. Limnologia de Águas Interiores: Impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: REBOUÇAS, Aldo; BRAGA, Benedito.

UFES. Gilberto Fonseca Barroso. **Laboratório de Limnologia e Planejamento Ambiental**. Disponível em: <<http://www.dern.ufes.br/limnol/main.html>>. Acesso em: 04 dez. 2011.

VILAS BOAS, Cíntia. **O uso múltiplo de reservatórios**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/go/O%20uso%20multiplo%20de%20reservatorios.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2011

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=1pxhLVxVFHoC&oi=fnd&pg=PA1&dq=principais+usos+da+%C3%A1guas+&ots=CgyxF12E1p&sig=vtosPCZwpQxpI5Xq6jiq2POU26Q#v=onepage&q=principais+20usos%20da%20%C3%A1guas&f=true>. Acesso em 20 out. 2011.

XAVIER, Christine da Fonseca. **Avaliação da influência do uso e ocupação do solo e de características geomorfológicas sobre a qualidade das águas de dois reservatórios da região metropolitana de Curitiba – Paraná**. 2005. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Ciências do Solo, UFPR, Curitiba, 2005.

ZUFFO, Antonio C.; SANTOS, Rozely F. Dos; DIAS, Elvira G. da Silva. **Proposta metodológica para gestão integrada da qualidade das águas**. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, Cancún: 2002. p. 1 - 8. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/vii-026.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2011.