

# **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** 228

ISSN 1678-0892  
Dezembro, 2013

## **Variação Temporal e Espacial de Parâmetros de Qualidade de Água no Reservatório de Barra Bonita/SP, como Subsídio ao Manejo da Bacia de Contribuição**



ISSN 1678-0892

Dezembro, 2013

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*

*Embrapa Solos*

*Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 228***

**Variação Temporal e Espacial de  
Parâmetros de Qualidade de  
Água no Reservatório de Barra  
Bonita/SP, como Subsídio ao  
Manejo da Bacia de Contribuição**

*Rachel Bardy Prado*

*Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo*

Rio de Janeiro, RJ

2013

**Embrapa Solos**

Rua Jardim Botânico, 1024. Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ  
CEP: 22460-000  
Fone: (021) 2179 4500  
Fax: (021) 2274 5291  
www.embrapa.br/solos  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

**Comitê de Publicações da Embrapa Solos**

Presidente: *Daniel Vidal Pérez*

Secretário-Executivo: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Membros: *Ademar Barros da Silva, Adriana Vieira de Camargo de Moraes, Alba Leonor da Silva Martins, Claudia Regina Delaia Machado, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Maria Regina Capdeville Laforet, Maurício Rizzato Coelho, Quitéria Sonia Cordeiro dos Santos.*

Supervisão editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Revisão de texto: *André Luiz da Silva Lopes*

Normalização bibliográfica: *Luciana Sampaio de Araujo*

Editoração eletrônica: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Foto da capa: *Rachel Bardy Prado*

**1ª edição**

On-line (2013)

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Solos

---

Prado, Rachel Bardy.

Variação temporal e espacial de parâmetros de qualidade de água no reservatório de Barra Bonita/SP, como subsídio ao manejo da bacia de contribuição / Rachel Bardy Prado, Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo. – Dados eletrônicos. – Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2013.

35 p. : il. color. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892 ; 228).

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: <<https://www.embrapa.br/solos/publicacoes>>.

Título da página da Web (acesso em 20 dez. 2013).

1. Qualidade da água. 2. Reservatório de água. 3. Manejo de água. I. Novo, Evlyn Márcia Leão de Moraes. II. Título. III. Série.

CDD 551.48 (23. ed.)

© Embrapa 2013

## Sumário

Resumo .....	5
Abstract .....	7
Introdução .....	9
Material e Métodos .....	11
Resultados e Discussão .....	18
Conclusões .....	30
Agradecimentos .....	31
Referências .....	32

# **Variação Temporal e Espacial de Parâmetros de Qualidade de Água no Reservatório de Barra Bonita/SP, como Subsídio ao Manejo da Bacia de Contribuição**

---

*Rachel Bardy Prado<sup>1</sup>*

*Evllyn Márcia Leão de Moraes Novo<sup>2</sup>*

## **Resumo**

Considerando a hipótese de que a variabilidade espaço-temporal dos parâmetros limnológicos seja significativa para o manejo de reservatórios e de seu entorno, o propósito deste estudo foi avaliar 14 parâmetros de qualidade da água em duas épocas (1990 e 2002), considerando os diferentes compartimentos do reservatório de Barra Bonita. Foram amostrados 30 pontos superficiais ao longo do reservatório no ano de 2002 e utilizados resultados de uma avaliação da qualidade da água nos mesmos pontos realizada em 1990 pelo projeto Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos (SISA). Para a obtenção dos compartimentos do reservatório, foi utilizada imagem do satélite Landsat7, sensor ETM+, bandas 1, 2 e 3, submetida à segmentação e classificação não-supervisionada no Spring 3.6. Os compartimentos foram: “braço” do Rio Piracicaba, “braço” do Rio Tietê, “corpo” central, encontro dos “braços” e barragem. Os parâmetros de qualidade da água analisados que apresentaram uma tendência de degradação da água foram: nitrato, fósforo total e clorofila *a* total. Em relação aos compartimentos do reservatório, constatou-se que o “braço” do Tietê foi o que apresentou teores mais elevados de material orgânico, com destaque para clorofila *a* total, transparência da água, nitrito, nitrato, amônio, fosfato inorgânico dissolvido, fosfato total

---

<sup>1</sup> Bióloga, doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

<sup>2</sup> Geógrafa, pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

dissolvido e Material em Suspensão Orgânico (MSO). A partir dos resultados obtidos, verifica-se a importância do gerenciamento de recursos hídricos nas bacias dos principais afluentes do reservatório de Barra Bonita, que são o Rio Tietê e o Rio Piracicaba, com investimentos significativos em tratamento de esgotos domésticos e industriais e implementação de práticas agrícolas conservacionistas, reduzindo, além das pontuais, as fontes de poluição difusas.

Termos para indexação: fontes de poluição difusa e pontual, reservatórios, parâmetros limnológicos, manejo de bacias hidrográficas, Barra Bonita.

# Temporal and Spatial Change of Water Quality Parameters in Barra Bonita Reservoir - SP, to Supply the Contribution Basin Management

---

## Abstract

*Assuming that the spatio-temporal limnological parameters to be significant in reservoirs management, the purpose this study was to evaluate 14 parameters of water quality, in two seasons 1990 and 2002. In this analysis was considered the different compartments of the Barra Bonita reservoir and the main sources of pollution. Sampling was carried out in 30 sites along surface of the reservoir in 2002 and they were used data got in 1990 by Remote Sensing of Aquatic Systems project (SISA). Landsat7 image, ETM+ sensor, bands 1, 2 and 3 were used to determined Barra Bonita reservoir into compartments optically distinct. For that, segmentation followed by unsupervised classification was carried out with the software Spring 3.6. The compartments were: the Piracicaba River inlet, the Tietê River inlet, the central body of the reservoir, the confluence of Tietê and Piracicaba inlets and the near-dam region. It was found that the parameters of water quality better represents the water quality degradation were: nitrate, total phosphorus and total chlorophyll a. The Tietê inlet showed the highest levels of organic material, mainly total chlorophyll a, water transparency, nitrite, nitrate, ammonium, dissolved inorganic phosphate, total phosphate and organic suspended matter. From the results obtained, it is important to mention the water resources management in the basins of the main tributaries of the Barra Bonita reservoir level, which are the Tietê and the*

*Piracicaba river. For this it is necessary significant investments in treatment of domestic and industrial sewage and implementation of conservation farming practices, reducing point and nonpoint pollution sources.*

*Index terms: nonpoint and point pollution sources, reservoirs, limnological parameters, watershed management, Barra Bonita.*

## Introdução

Diversos são os fatores que levam à deterioração da qualidade da água, podendo ser suas fontes classificadas em pontuais e difusas. As fontes pontuais correspondem, essencialmente, aos efluentes domésticos e industriais; já as difusas incluem os resíduos provindos principalmente da agricultura (fertilizantes e pesticidas em geral). Este tipo de ação antrópica pode ser intensificado devido ao uso e manejo da terra, além da interferência de fatores naturais (geologia, geomorfologia, declividade, pedologia, forma e densidade de drenagem da bacia hidrográfica, regime de chuvas, permeabilidade do solo e outros) (PRADO; NOVO, 2007). Diversos estudos têm buscado compreender a relação espaço-temporal das fontes de poluição e a qualidade da água em corpos hídricos, tendo-se como exemplos FAO (2013), Menezes et al. (2009), Oliveira et al. (2008) e World Bank Group (2010).

Em reservatórios, ocorrem impactos negativos consideráveis no sistema aquático desde a fase de sua construção, dada à transformação de um ambiente lótico em lêntico. Esta alteração do regime hidrológico tem reflexo direto na qualidade da água, visto que a presença do reservatório provoca a redução da capacidade de autodepuração do curso d'água, o aumento da retenção de sedimentos e nutrientes como consequência da alteração das características físicas, químicas e biológicas do sistema. Desta forma, ocorre um incremento no processo de eutrofização o qual, dependendo do nível atingido, poderá comprometer os usos múltiplos a que esse é destinado.

De acordo com Tundisi e Matsumura Tundisi (2008), o aumento do grau de trofia dos lagos em condições naturais pode levar algumas centenas de anos, pois depende da carga orgânica e inorgânica que o lago recebe dos processos naturais nas bacias hidrográficas. No entanto, nos reservatórios o aporte de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo provenientes das atividades humanas, acelera o processo de eutrofização natural.

No reservatório de Barra Bonita, vários estudos têm sido realizados nas últimas décadas (BINI, 1997; CALIJURI; SANTOS, 2001; MAIA et al., 2008; PRADO, 2004; TUNDISI et al., 2008), os quais contribuem para a classifica-

ção do seu nível trófico, sendo que, pelos trabalhos mais recentes, Barra Bonita é classificado como um sistema polimítico, controlado pela precipitação, vento, vazão e tempo de residência da água. Estes estudos têm demonstrado que o processo de eutrofização neste reservatório tem se intensificado e que medidas mitigatórias não têm sido tomadas na bacia hidrográfica em que o mesmo está situado.

Este processo tem ocorrido porque Barra Bonita é um reservatório antigo (em 1963 se iniciou a operação da hidrelétrica), localizado numa região sujeita a intensas transformações nos padrões de uso e cobertura da terra, tais como: expansão urbana, dinâmica agropecuária (com ênfase na cultura da cana-de-açúcar), o que o torna suscetível a problemas de poluição e assoreamento acelerado. O aporte de nutrientes no reservatório é causado, em grande parte, pela entrada dos seus principais afluentes, o Rio Tietê e o Rio Piracicaba, os quais transportam, além dos resíduos agrícolas, descargas domésticas e industriais de grandes centros urbanos (MAIA et al., 2008; PRADO, 2004).

No entanto, parâmetros de qualidade da água fornecem suporte a modelos matemáticos de previsão, bem como auxiliam na decisão dos usos múltiplos da água a que o reservatório se destina. Para tanto, é primordial que seja realizado um monitoramento continuado dos parâmetros de qualidade de água, considerando a variabilidade espacial e temporal, além das propriedades limnológicas (parâmetros hidrológicos, pluviométricos, sedimentológicos), de forma a obter um volume de informações consistentes as quais serão utilizadas nos modelos matemáticos preditivos. Para Tundisi e Matsumura Tundisi (2008), um reservatório é um sistema complexo, formado de muitos componentes e subsistemas que interagem entre si, os quais variam no espaço e no tempo. Para a compreensão dos processos e mecanismos de funcionamento destes ecossistemas, é necessária uma abordagem integrada para a observação, experimentação e mensuração dos mesmos.

Conforme Maia et al. (2007), as alterações nas vazões afluentes e as mudanças de qualidade das mesmas acarretam consequências diretas sobre a qualidade da água do reservatório. O volume afluente afeta a mistura das diferentes

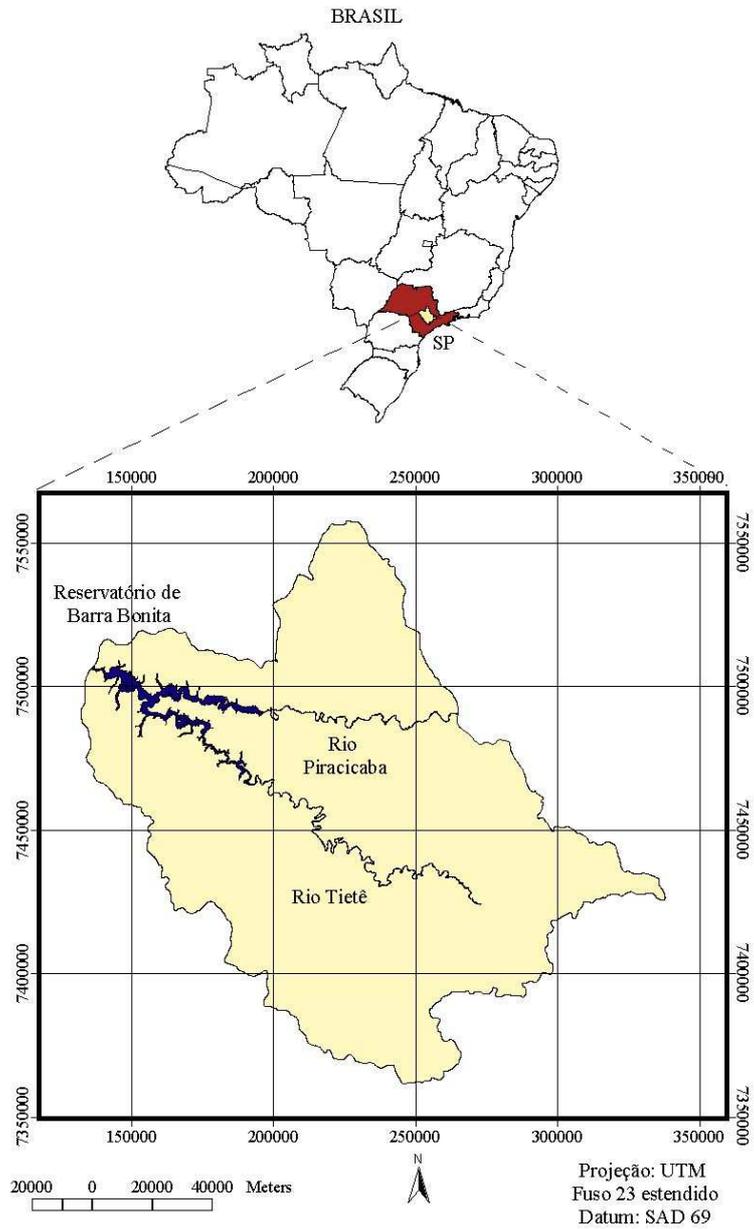
camadas existentes no corpo hídrico, podendo acarretar em efeitos positivos ou negativos. A mudança de qualidade da água do reservatório está intimamente ligada ao tempo de retenção. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2014) e Gomes e Miranda (2001) afirmam que as condições climáticas controlam a biomassa fitoplanctônica e sua resposta a características físicas e químicas dos reservatórios.

Perante o exposto, o presente trabalho avaliou o comportamento de uma série temporal e espacial em 1990 e 2002 de parâmetros de qualidade da água nos diferentes compartimentos do reservatório de Barra Bonita, no Estado de São Paulo, com intuito de subsidiar o manejo, bem como o planejamento do uso e cobertura da terra do solo em sua bacia de contribuição.

## **Material e Métodos**

### **Área de estudo**

O reservatório de Barra Bonita entrou em operação em 1963, formado pelo represamento dos rios Tietê e Piracicaba. Este reservatório foi construído, principalmente, para a geração de energia elétrica. Porém, tem sido também utilizado para transporte fluvial (Hidrovia Tietê-Paraná), irrigação, turismo, lazer, pesca, abastecimento urbano e como suporte ao desenvolvimento do complexo industrial da região. Suas principais características encontram-se na Tabela 1. A bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita, adotada neste trabalho, é constituída por parte das bacias hidrográficas Piracicaba/Capivari/Jundiá (BHPCJ) e Tietê/Sorocaba (BHTS), correspondendo a aproximadamente 19.164,43 km<sup>2</sup>. Encontra-se inserida entre as coordenadas geográficas 21°54'20" e 23°57'26" Sul e 46°39'27" e 48°34'52" Oeste (CALIJURI et al., 2002) (Figura 1).



**Figura 1.** Localização da bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita e seus principais tributários, rios Tietê e Piracicaba.

Fonte: Prado (2004).

**Tabela 1.** Principais características do reservatório de Barra Bonita.

Características	Valor
Extensão da barragem	480 m
Área inundada	310,00 km <sup>2</sup>
Cota máxima	451,50 m
Cota mínima	439,50 m
Perímetro	525 km
Profundidade máxima	30,2 m
Profundidade média	10,2 m
Volume médio acumulado	2.566x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Vazão média anual	4.200x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Tempo de residência da água	entre 30 a 180 dias
Número de comportas	5
Número de turbinas	4
Potência por unidade	35,190MW

Fonte: Calijuri (1999).

Trata-se de uma das regiões mais populosas e desenvolvidas do interior do Estado de São Paulo. Os problemas referentes à qualidade da água advindos do uso e cobertura da terra são bastante representativos da realidade de toda a extensão destas bacias hidrográficas. Tanto a BHPCJ como a BHTS apresentam uma série de problemas ambientais, com destaque para os recursos hídricos, tanto no que se refere à qualidade como à quantidade, havendo conflitos relacionados ao uso dos mesmos (PRADO, 2004).

Em relação ao uso e cobertura da terra, destaca-se a expansão da cana-de-açúcar na região para produção de etanol. A Tabela 2 apresenta as principais classes e áreas em 1990 e 2002, e mais detalhes podem ser encontrados em Prado e Novo (2007).

A qualidade das águas superficiais em longos trechos de seus principais rios apresenta-se degradada, em decorrência da falta de tratamento de esgoto sanitário e da contribuição dos lançamentos de cargas poluidoras remanescentes industriais. A BHPCJ produz aproximadamente 2.000 toneladas/dia de resíduos domiciliares, ficando abaixo apenas da bacia do Alto Tietê. O potencial de carga orgânica aumenta ainda mais ao se considerar os resíduos produzidos pelo setor sucroalcooleiro, predominante na região (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014).

A BHTS é também prejudicada pela baixa qualidade das águas provenientes da Região Metropolitana de São Paulo. A situação é agravada pela contribuição dos rios Jundiá e Capivari, o que impede a utilização das águas do Rio Tietê, neste trecho, para abastecimento, irrigação e pesca. A BHTS é crítica em termos de disponibilidade hídrica superficial com demandas elevadas devido à irrigação, principalmente no Alto Sorocaba. Há conflitos de uso entre a irrigação e o setor industrial no Baixo Sorocaba/Tatuí. Também é crítica com relação ao risco de poluição das águas subterrâneas na área de recarga do sistema aquífero Guarani, no Município de Botucatu e arredores (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014).

**Tabela 2.** Classes de uso e cobertura da terra em 1990 e 2002 da bacia de contribuição para o reservatório de Barra Bonita (incluindo Tietê e Piracicaba).

Classes	Área 1990 (km <sup>2</sup> )	Área 2002 (km <sup>2</sup> )
Área urbana	996,85	1.286,49
Solo exposto	2.486,46	1.804,96
Pastagem e campo	5.029,54	5.143,73
Cana-de-açúcar	4.370,78	4.917,72
Cultura anual	858,51	878,80
Cultura perene	267,85	247,65
Remanescente de vegetação natural	2.870,76	2.665,05
Reflorestamento	623,47	581,50
Macrófita aquática	32,27	19,23
Nuvem e sombra	1.290,12	1.290,12
Corpo de água	337,82	329,18
<b>Total</b>	<b>19.164,43</b>	<b>19.164,43</b>

Fonte: Prado (2004).

Quanto às características naturais, o clima da região é considerado de transição entre os climas tropical e subtropical e as estações anuais não são bem definidas. Segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo CWA (clima mesotérmico), com inverno seco e verão quente. A Figura 2 apresenta a média pluviométrica (mm) mensal para o período contemplado no presente estudo, utilizando dados das estações pluviométricas do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE-SP), presentes na bacia.

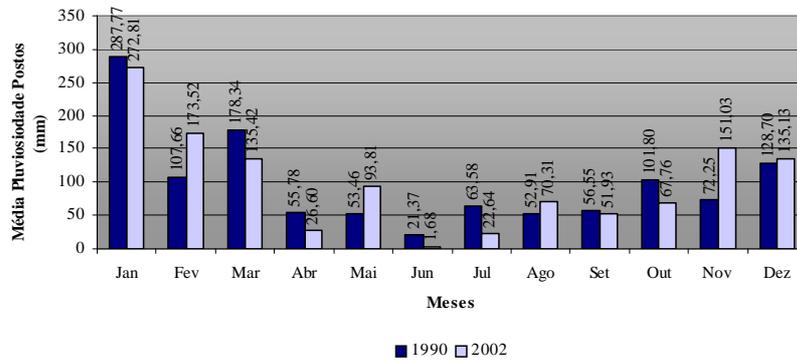


Figura 2. Comparação das médias mensais de pluviosidade dos postos de monitoramento presentes na bacia.

A respeito dos solos, predominam na bacia os Argissolos, Latossolos e Neossolos. As formações geológicas predominantes são Itararé, Pirambóia, Tatuí e Grupo São Roque. Nas proximidades do reservatório aparecem as formações Botucatu e Serra Geral (OLIVEIRA, 1999). Quanto à geomorfologia, destacam-se os Morrotes Alongados e Espigões, Colinas Amplas e Colinas Médias, possuindo a bacia, na maior parte de sua extensão, um relevo pouco movimentado (PONÇANO et al., 1981).

Segundo Wisniewski (1998), a vegetação natural de Mata Atlântica e Cerrado foi substituída pela monocultura de cana-de-açúcar, quase que na sua totalidade. Os fragmentos de vegetação remanescentes mais significativos se encontram em Unidades de Conservação, como: Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí-Botucatu, APA Tietê, APA Jundiá/Cabreúva, Parque Estadual das Monções, Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) da Mata de Santa Genebra, Estação Ecológica (ESEC) Ibicatu, Floresta Nacional (FLONA) de Ipanema.

Em face do exposto, estudos de avaliação integrada trarão contribuições para o gerenciamento e para o controle da qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, que atende a usos múltiplos na região.

## Procedimentos metodológicos

No presente estudo foram amostrados 30 pontos, na profundidade do Disco de Secchi (30 m), do reservatório de Barra Bonita, no período seco e chuvoso em 2002, conforme distribuição estabelecida pelo projeto Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos (SISA) finalizado em 1995 (NOVO; BRAGA, 1991; NOVO et al., 1995). A localização dos pontos de amostragem encontra-se na Figura 3 e foi assim estabelecida para que se pudesse avaliar a variabilidade espacial dos parâmetros de qualidade da água no reservatório de Barra Bonita, levando-se em conta a entrada de poluição pelos seus afluentes.

Os dados dos parâmetros de qualidade da água obtidos no projeto em 1990 foram também utilizados no presente estudo (NOVO; BRAGA, 1991; NOVO et al., 1995). Foram realizadas coletas de amostras de água superficiais em dois períodos amostrais (seco e chuvoso). Diversos parâmetros de qualidade da água foram avaliados em Braga (1998), Novo e Braga (1991), Novo et al. (1995), Novo et al. (2006) e Prado (2004). No entanto, no presente estudo foram considerados apenas aqueles que apresentaram maior variabilidade temporal e espacial ao longo do reservatório, sendo eles: transparência da água (Disco de Secchi), temperatura (*in situ* com sonda multiparâmetro da marca Horiba); nitrogênio orgânico total, nitrito, amônio, fosfato total dissolvido, fosfato inorgânico dissolvido e sílica reativa (espectrofotometricamente), clorofila *a* total, material em suspensão total, orgânico e inorgânico (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1995; SOTERO-SANTOS, 2006).

A análise dos parâmetros de qualidade da água foi realizada, considerando a sazonalidade (período seco e chuvoso) com base nas informações de dados da literatura que apontam para uma influência significativa da mesma nas condições físicas e químicas da água do reservatório (GOMES; MIRANDA, 2001). Para tanto, o reservatório foi separado em diferentes compartimentos, considerando a hipótese de que a velocidade da água, a proximidade das fontes de poluição e o manejo do mesmo para os usos múltiplos atuem com diferentes intensidades.

Para investigar esta hipótese, foram usados métodos de sensoriamento remoto com base em metodologia adotada por Kirk (2011). Esta metodologia consiste em delimitar o reservatório, separando-o do restante da imagem. Neste caso, a

imagem foi do Landsat7, órbita 220, ponto 76, obtida em 27/06/2001, composição colorida B (Blue) G (Green) R (Red) das bandas 1,2 e 3. Esta imagem passou por um contraste de bandas e segmentação no Spring 3.6, adotando os limiares de similaridade e área de 30 e 60, respectivamente. Foi realizada uma classificação não-supervisionada, com limiar de aceitação de 95%. A partir do resultado foi possível visualizar diferentes massas de água óticamente distintas ao longo do reservatório (Figura 4). Entende-se, pois, que estes compartimentos se comportam de maneira diferente, tendo em vista que as propriedades óticas da água respondem às propriedades biológicas e químicas do ambiente aquático.

A partir do resultado foi possível visualizar diferentes massas de água óticamente distintas ao longo do reservatório. Com base neste resultado, o reservatório foi dividido em cinco compartimentos, a saber: “braço” do Rio Piracicaba – P (pontos de 1 a 11), “braço” do Rio Tietê – T (pontos de 14 a 24), “corpo” central – C (pontos de 25 a 29) encontro dos “braços” – E (pontos 12 e 13) e barragem – B (ponto 30).

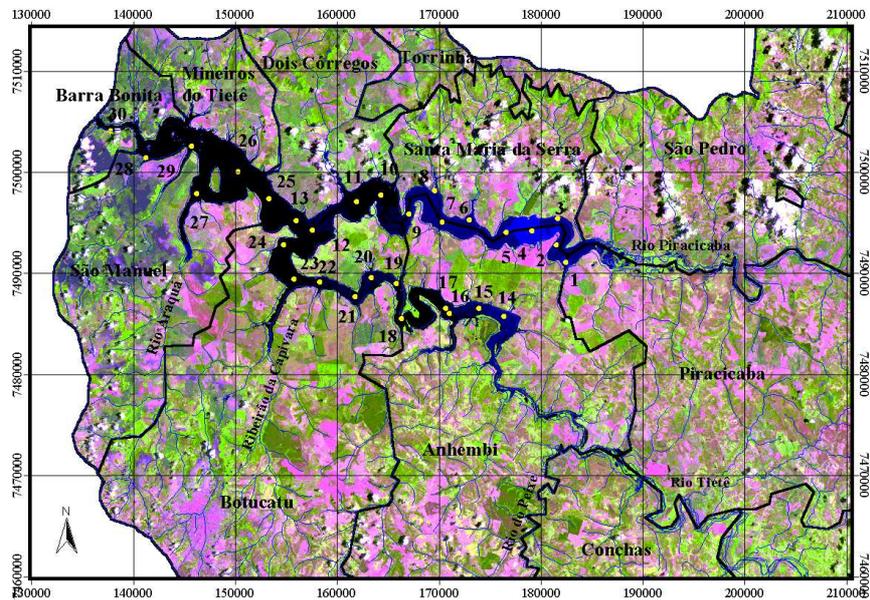
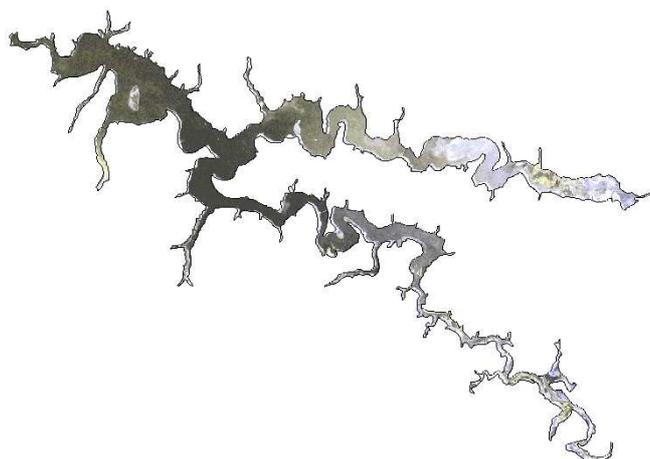


Figura 3. Localização dos pontos de amostragem de água no reservatório de Barra Bonita – SP, sobre imagem Landsat 7, sensor ETM+ em 2002 e municípios que o circundam.



**Figura 4.** Resultado da classificação da imagem Landsat 7, ETM+ apresentando os diferentes compartimentos do reservatório de Barra Bonita em termos das propriedades óticas da água captadas pelo satélite, estando relacionadas a alguns parâmetros de qualidade da água, tais como presença de sólidos, quantidade de clorofila a, dentre outros.

## Resultados e discussão

A Figura 5 mostra valores de transparência da água, nos diferentes compartimentos do reservatório de Barra Bonita. Observou-se, inicialmente, uma maior transparência da água nas estações secas. Segundo Calijuri et al. (2002), este resultado é justificado devido à menor precipitação e vazão, bem como maior tempo de residência da água. No presente estudo, os resultados de precipitação contidos na Figura 2 supõem esta mesma observação. Comparando os dois anos, somente no compartimento reservatório, os maiores valores de transparência em 1990 foram na estação chuvosa, e em 2002 na estação seca. Este fato pode estar relacionado ao regime de chuvas, visto que a estação seca de 1990 foi mais acentuada, enquanto a estação chuvosa de 2002 apresentou maiores precipitações (Figura 2). Trabalhos realizados por Tundisi (2005) mostram que durante a estação seca episódios de entrada de frentes frias podem provocar mudanças na estratificação da coluna

d'água com resuspensão de material dos sedimentos e outros processos, devido ao aumento da intensidade do vento e episódios de chuvas frontais.

Quanto aos diferentes compartimentos do reservatório, observou-se nitidamente que o compartimento T foi o que apresentou menor transparência, devido à presença de grande quantidade de nutriente e material em suspensão provindo de esgotos domésticos e industriais da bacia de contribuição do Médio Rio Tietê. A maior transparência foi obtida no compartimento C (ponto 27), devido a este ponto estar localizado próximo à desembocadura do afluente Rio Araquá, que possui uma vazão significativa e águas com nível de poluição menos acentuado do que o reservatório de Barra Bonita.

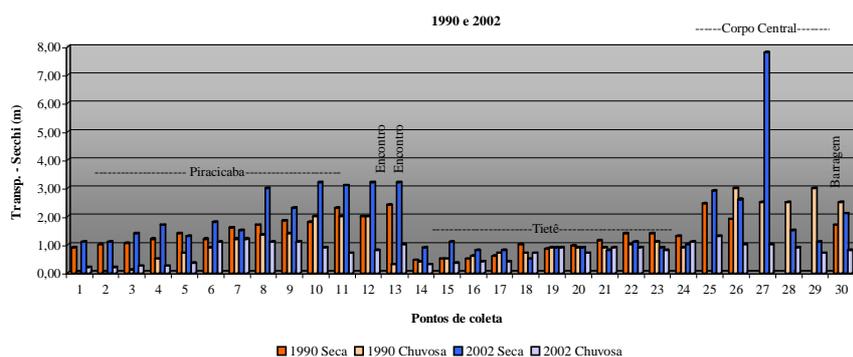


Figura 5. Valores de transparência obtidos nas estações seca e chuvosa nos anos de 1990 e 2002, nos compartimentos do reservatório de Barra Bonita/SP.

Quanto às formas nitrogenadas, a Figura 6 apresenta os resultados obtidos para nitrato, nitrito e íon amônio, respectivamente. Ao observar os valores e a distribuição das formas nitrogenadas nas diferentes estações do ano e compartimentos do reservatório, verificou-se uma grande variabilidade. Entre as formas quantificadas, o nitrato foi o que apresentou teores mais elevados, ultrapassando os 4.000  $\mu\text{g/L}$ , principalmente no compartimento C (corpo central do reservatório), na estação chuvosa de 2002. Isto sugere que neste período chuvoso os nutrientes foram transportados dos "braços" do reservatório para o "corpo central", sem considerar a contribuição das fontes difusas. Por outro lado, no ano de 1990 foram observados valores maiores

deste nutriente no compartimento T, similares nas estações seca e chuvosa. E ainda, em ambos os anos na estação seca, houve uma concentração maior deste nutriente em torno dos pontos 23 e 24, localizados no final do compartimento T e início do “corpo” central. Isto reflete o somatório das concentrações de nitrato do Rio Tietê, proveniente de fontes pontuais de poluição, que no período seco não sofre o efeito de diluição pelas chuvas, sem considerar que estes pontos estão localizados a jusante da entrada do Ribeirão da Capivara, trazendo resíduos de esgoto do Município de Botucatu.

No caso do nitrito e do íon amônio, as concentrações mais elevadas ocorreram em 2002. O nitrito é bastante instável e por isto não é detectado em altos teores. Os valores maiores ocorreram nos compartimentos T e C, com exceção do ponto 27 que, por receber a contribuição do afluente Rio Araquá, sofreu diluição e apresentou valor reduzido. Já o nitrito se concentrou mais nos pontos a jusante 23 e 24 (Figura 3), pela contribuição de nutrientes provindos do Ribeirão da Capivara, cujas nascentes encontram-se na área urbana da cidade de Botucatu. Para o íon amônio, as concentrações maiores foram também no compartimento T, sendo as do ano de 2002 várias vezes superiores às encontradas no ano de 1990, para as duas estações, ultrapassando  $2.500 \mu\text{g/L}$ . Este fato pode ser justificado pelo aumento da contribuição de esgotos domésticos e pelo aumento da população da bacia de contribuição do Médio Rio Tietê no período de 1990 a 2002.

Quanto aos valores de nitrogênio orgânico total (Figura 7), as concentrações mais significativas foram também no compartimento T, na estação chuvosa de 2002 (acima de  $18 \text{ mg/L}$  - valores muito elevados, quando comparados aos do esgoto *in natura* (que são em torno de  $40 \text{ mg/L}$ ; bem como na região do encontro E, devido à influência do nitrogênio proveniente do “braço” do Rio Tietê. Deve-se lembrar que o “braço” T sofre influência de esgotos sanitários da Região Metropolitana de São Paulo, o que explica os valores encontrados. No compartimento P, as maiores concentrações foram registradas na estação chuvosa de 1990.

Quanto às formas fosfatadas, a Figura 8 mostra os resultados referentes ao Fósforo Inorgânico Dissolvido (PID), Fósforo Total Dissolvido (PTD) e Fósforo

Total (P total), respectivamente. No tocante ao PID, os resultados obtidos mostraram concentrações muito mais elevadas em 2002 do que em 1990, para o compartimento T, em ambas as estações, sendo que na estação seca as concentrações atingiram aproximadamente 350  $\mu\text{g/L}$ .

Contudo, os valores obtidos na estação seca superaram os obtidos na estação chuvosa em quase todos os pontos, para ambos os anos, demonstrando que este nutriente tende a se concentrar na época de estiagem, devido ao maior tempo de residência da água, menor volume de água no reservatório, enquanto o lançamento de esgotos, contendo substâncias fosfatadas como os detergentes, se mantém constante.

Com relação ao PTD, as maiores concentrações obtidas também foram no compartimento T, no ano de 2002, sendo que a distribuição das concentrações neste compartimento foi similar à do PID para as duas estações. É interessante notar, neste compartimento, que conforme se desloca do ponto 14 para o 24 ("braço" do rio Tietê em direção ao "corpo" central) ocorre um aumento nas concentrações do ponto 14 até o ponto 19, na estação seca, e a partir deste ponto inicia-se um processo decrescente nos valores das concentrações até atingir o ponto 24. As formas fosfatadas contribuem definitivamente para o processo de eutrofização, como pode ser visto em Esteves (2011) e Tundisi e Matsumura Tundisi (2008). Com a intensificação do processo de eutrofização, diversos parâmetros são alterados como a diminuição do oxigênio dissolvido na água, o aumento da clorofila *a*, dentre outros, causando impactos não desejáveis ao reservatório tais como: a proliferação do fitoplâncton, ocasionando odor desagradável, podendo afetar o funcionamento das turbinas da hidrelétrica, a navegação, bem como comprometer a qualidade da água para outros usos, sendo o principal deles o abastecimento humano.

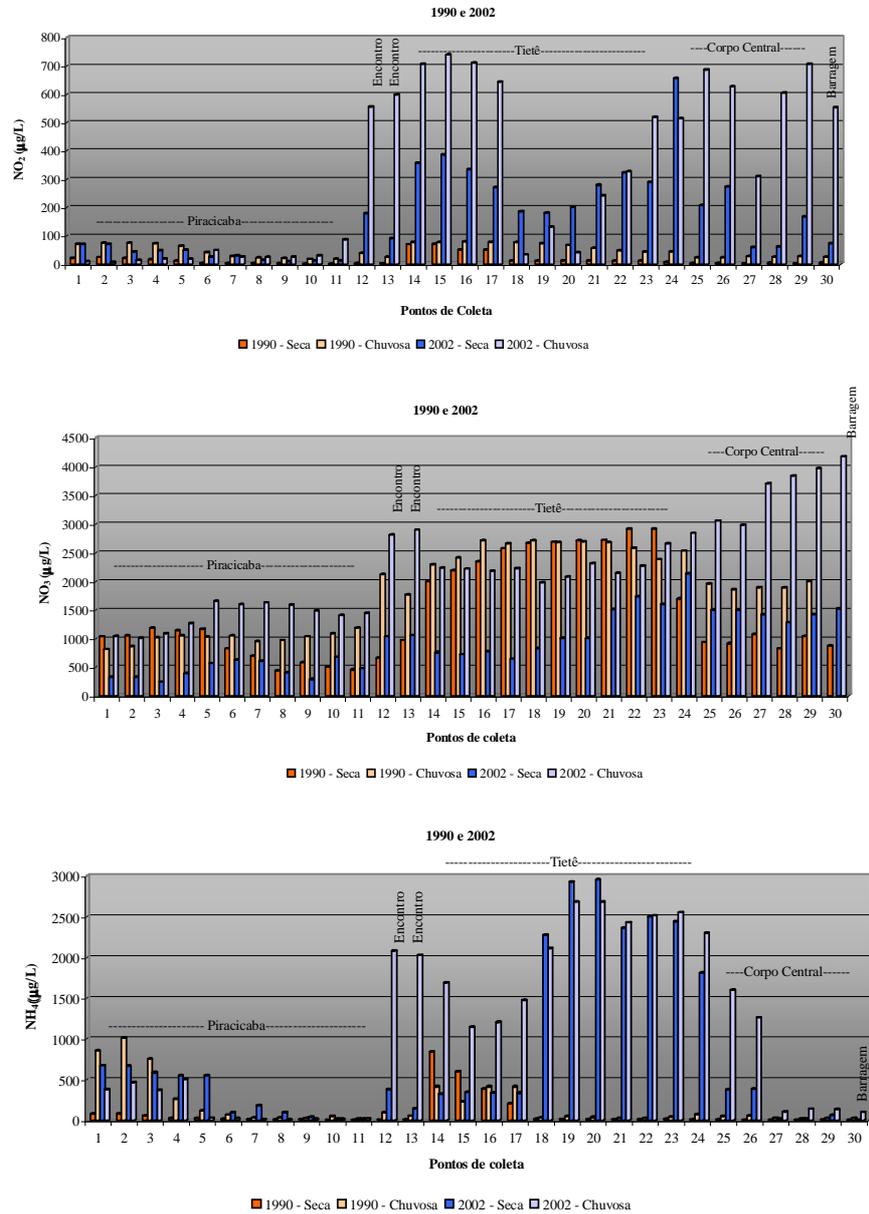
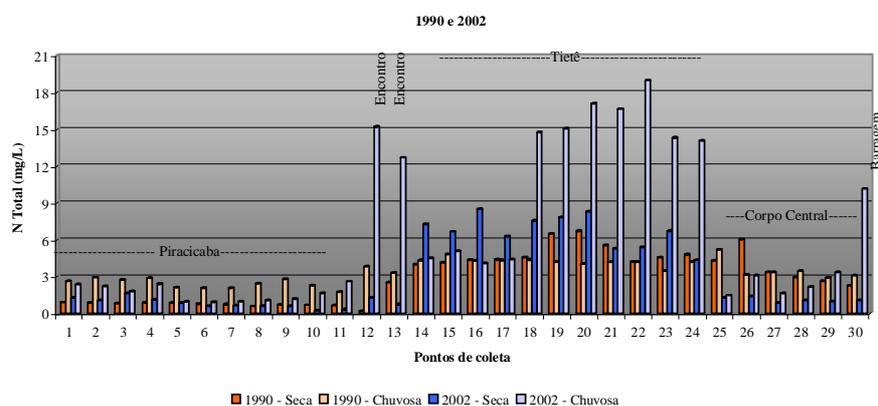


Figura 6. Formas nitrogenadas - Nitrito, nitrato e íon amônio, respectivamente, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos compartimentos do reservatório de Barra Bonita/SP.



**Figura 7.** Nitrogênio orgânico total, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos compartimentos do reservatório de Barra Bonita/SP.

O inverso ocorre na estação chuvosa. Este fenômeno foi observado tanto para o PTD como para o fósforo total e pode ser explicado pelo fato de que os pontos 18 e 19 estão localizados nas proximidades da maior curva do compartimento T, a qual pode contribuir para que estas formas fosfatadas sejam depositadas no período seco, ao passo que no período chuvoso os pontos 18 e 19 recebem a contribuição das vazões de afluentes próximos, provocando a diluição destes nutrientes, transportando-os até os compartimentos C e B, onde se observou maior acúmulo. A Figura 2 apresenta os dados médios de precipitação, cuja variação anual explica os resultados aqui obtidos.

No caso do fósforo total, observou-se também que as concentrações referentes a 2002 foram maiores comparadas às obtidas em 1990. Para o compartimento P, observaram-se concentrações maiores na época de chuvas (influência da precipitação apresentada na Figura 2), mostrando que as formas fosfatadas atingem este compartimento também pelo escoamento superficial, devido às fontes difusas, relacionadas aos processos erosivos, bem como à aplicação de agroquímicos nas lavouras. Uma das conclusões do Projeto SISA, mencionado anteriormente, foi que o comportamento dos fatores limnológicos difere do “corpo” central para os “braços” do mesmo, o que também vem sendo observado no presente trabalho. A Figura 8 apresenta os

resultados obtidos para a clorofila *a* total nos anos de 1990 e 2002. Observa-se que as maiores concentrações foram obtidas em 2002, na estação seca, no compartimento T e na estação chuvosa no compartimento B. Verificou-se, pois, que a clorofila se concentrou no compartimento T na época da seca devido à presença de uma grande quantidade de nutrientes, principalmente N e P provindos dos esgotos e da agricultura, que induzem uma maior produtividade do fitoplâncton e que tendem a se concentrar neste período, cujas vazões e precipitações ficam reduzidas. Foi notória também a relação deste parâmetro com as formas nitrogenadas e fosfatadas, principalmente PID, PTD e P total, que também tiveram teores mais elevados na estação seca no compartimento T, favorecendo o processo de eutrofização.

Prado e Novo (2007) aplicaram o Índice de Estado Trófico de Arceivala (1981) para a mesma bacia de contribuição para Barra Bonita e os resultados encontrados corroboram para a discussão apresentada no presente estudo.

Uma maior concentração de clorofila *a* total no compartimento B deve ocorrer na época da chuva com o aumento da precipitação (Figura 2) e vazões, de modo que os nutrientes são transportados para o “corpo” do reservatório, acumulando neste local, o que favorece a proliferação do fitoplâncton e, portanto, o aumento da concentração de clorofila, principalmente quando os vertedouros da barragem se encontram fechados e a velocidade da água é reduzida.

Ainda quanto à clorofila *a* total, observou-se mais uma vez no compartimento P gradiente decrescente do ponto 1 para o 10 (para ambas as estações), mostrando que a concentração de clorofila foi maior na fase de rio ou lótica, com correnteza (maior proximidade com as fontes de poluição) diminuindo conforme se aproxima do “corpo” central (efeito da depuração e diluição pelos afluentes de águas mais limpas). Deve estar ocorrendo também uma influência de ventos e turbulência da água na região do encontro dos “braços” com o “corpo” central, o que reduz a atividade fitoplanctônica nestas proximidades, hipótese evidenciada pela diminuição da concentração de clorofila no ponto 20 do compartimento T.

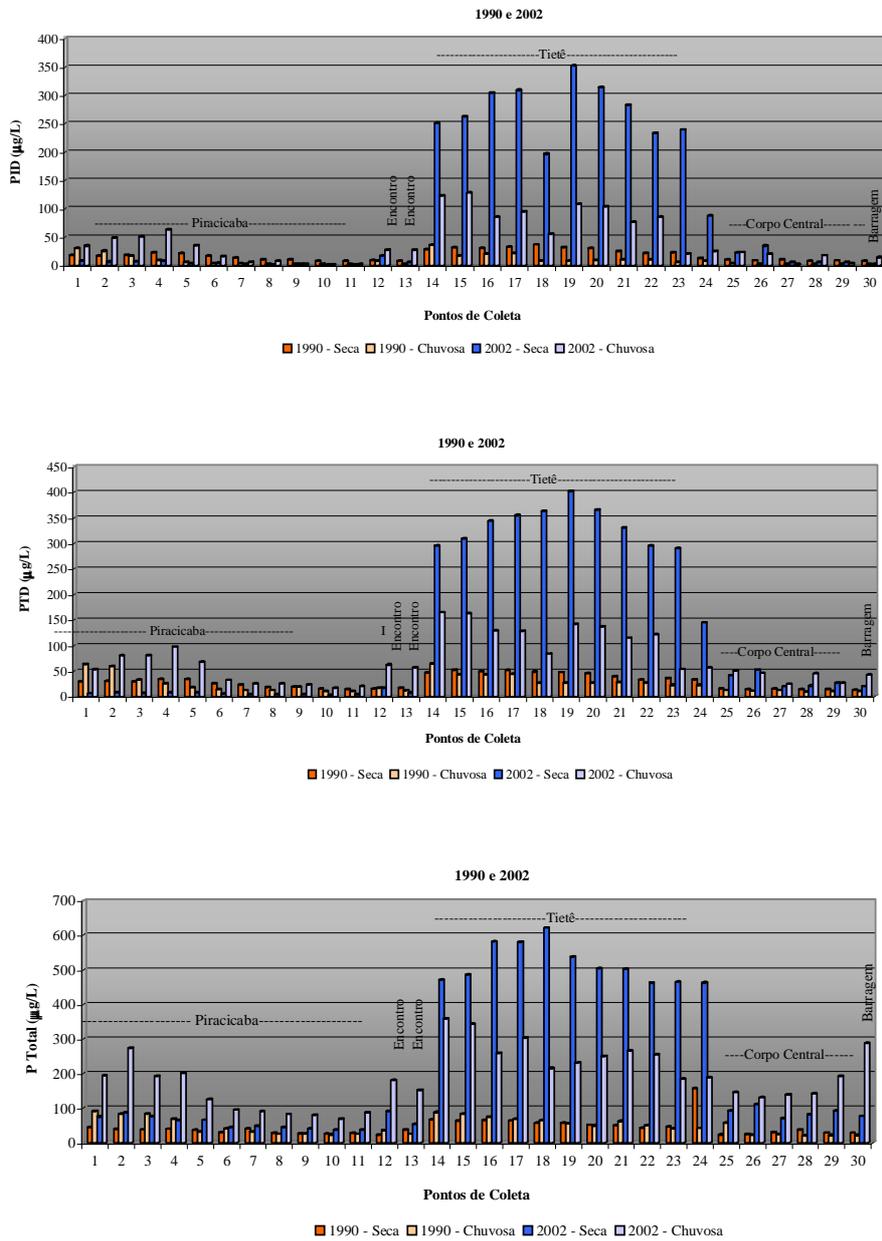


Figura 8. PID, PTD e P total nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos compartimentos do reservatório de Barra Bonita/SP.

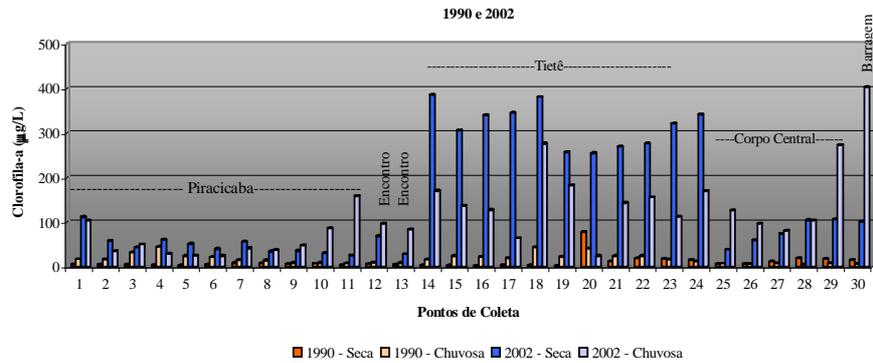


Figura 9. Clorofila *a* total nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos compartimentos do reservatório de Barra Bonita/SP.

Ao se comparar os resultados das formas nitrogenadas e fosfatadas com a clorofila *a* total e com a transparência da água, visualiza-se claramente as diferenças entre os compartimentos do reservatório em termos de eutrofização, pois onde há maior disponibilidade de nitrogênio e fósforo, mais intensa será a produção fotossintética pelo fitoplâncton (eutrofização) e menor será a transparência da água (ESTEVES, 2011; TUNDISI; MATSUMURA TUNDISI, 2008).

Para o Material em Suspensão Orgânico (MSO), o Material em Suspensão Inorgânico (MSI) e Material em Suspensão Total (MST), a Figura 10 apresenta os resultados obtidos para 1990 e 2002, nas estações seca e chuvosa. No caso de MSO, os valores mais elevados foram obtidos no compartimento T, no período seco de 2002, com exceção do ponto 24 deste compartimento que apresentou concentração alta também no período seco de 1990 e dos pontos 11 (P) e 30 (B) que apresentaram concentrações altas no período chuvoso de 2002. Desta forma, os valores indicam uma concentração de material em suspensão orgânico no compartimento T, provindo principalmente de esgotos, que na estação seca se concentram neste “braço” do reservatório, devido às precipitações e vazões naturais serem reduzidas. Quanto ao ponto 24, jusante da entrada do afluente Ribeirão da Capivara, com suas nascentes na região urbana de Botucatu, trazendo matéria orgânica provinda

de esgotos domésticos e industriais, além da contribuição da agricultura. O ponto 11 deve ter apresentado grande concentração de MSO na estação chuvosa de 2002 devido à contribuição do principal afluente do “braço” Piracicaba neste trecho, com contribuição de matéria orgânica dos municípios de Dois Córregos e Torrinha, além de estar localizado em frente a um grande condomínio às margens do reservatório, havendo indícios de que o esgoto produzido no mesmo seja lançado diretamente no reservatório, sem tratamento prévio. A grande concentração de MSO no período chuvoso de 2002 no ponto 30 (B) está relacionada à concentração de nutrientes como o nitrato, o nitrogênio total e o fósforo total, visto que estes nutrientes são transportados dos “braços” para a região central e da barragem, intensificando o processo de eutrofização do reservatório.

No compartimento P, as maiores concentrações de MSO ocorreram na estação chuvosa em ambos os anos, o que sugere que este “braço” do reservatório recebe maiores contribuições de fontes difusas de poluição, pois possui áreas de monocultivo, com destaque para a cana-de-açúcar, nas quais se aplica o vinhoto como fertirrigação, fonte rica em matéria orgânica (ver o uso e cobertura apresentado na Tabela 2). Em relação ao MSI, a maior concentração ocorre no compartimento P, na estação chuvosa do ano de 1990 (ponto 1), apesar das médias de precipitação desta estação para os anos de 1990 e 2002 terem sido muito próximas. Provavelmente em 1990 o solo estava mais exposto nas proximidades do ponto 1, uma vez que o plantio da cana-de-açúcar ocorre justamente nos meses de janeiro a março (período chuvoso). Outro fato importante é que, segundo dados obtidos em IBGE (2010), houve um aumento da área ocupada por culturas temporárias de 1990 para 2002, com ênfase na cultura de cana-de-açúcar (evidenciado também na Tabela 2).

No compartimento T, as maiores concentrações também foram no período chuvoso de ambos os anos (ver Figura 2). Ao observar o somatório de MSO e MSI, por meio do MST, pode-se notar que o compartimento P apresenta concentrações mais elevadas em períodos de chuva, indicando ser uma bacia onde as fontes difusas de poluição estão atuando com mais intensidade em relação ao compartimento T. O inverso também ocorre em períodos de seca,

demonstrando o maior potencial do compartimento T quanto às fontes pontuais de poluição em relação ao compartimento P. Na região onde está inserido o reservatório de Barra Bonita, o principal material lançado nos rios é constituído por argila e silte em suspensão. Estes sedimentos finos são carreados em suspensão por grandes distâncias e atingem, conseqüentemente, o interior do reservatório podendo permanecer aí por um longo período. O regime polimítico do reservatório impede a rápida decantação do material (CALIJURI et al., 2002).

Os valores de silicato reativo são apresentados na Figura 11. Na estação seca de 2002, este parâmetro foi analisado a partir do ponto 18, devido às dificuldades de acesso de barco com o baixo nível da água. Dos dados obtidos, as maiores concentrações observadas na estação chuvosa de 2002 ocorreram no compartimento P, havendo gradiente decrescente da fase de rio para a fase de lago. A maior presença de sílica na fase de rio favorece a presença de diatomáceas que causam a eutrofização, enquanto a menor presença de sílica na fase lago reflete na maior transparência, uma vez que a coluna d'água fica mais limpa.

O Rio Piracicaba recebe maior contribuição de sílica, principalmente em épocas chuvosas, porque seus afluentes possuem suas nascentes em regiões de cuestas basálticas, com predomínio dos arenitos, ao passo que os afluentes do Rio Tietê nascem em regiões de rochas cristalinas, mais consolidadas. Apesar disto, os compartimentos T, C e B apresentaram também concentrações bastante elevadas para este parâmetro.

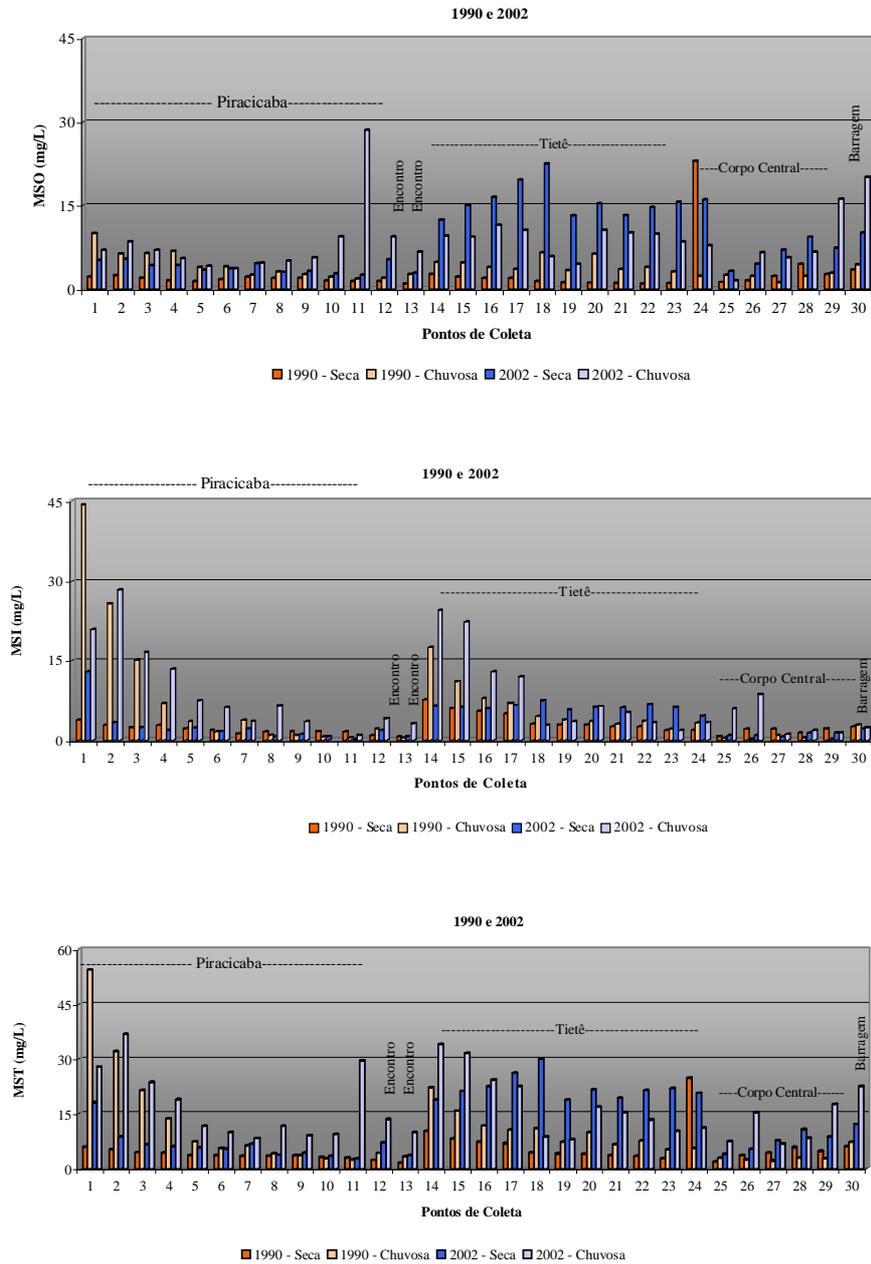


Figura 10. Material em suspensão orgânico, inorgânico e total, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos compartimentos do reservatório de Barra Bonita/SP.

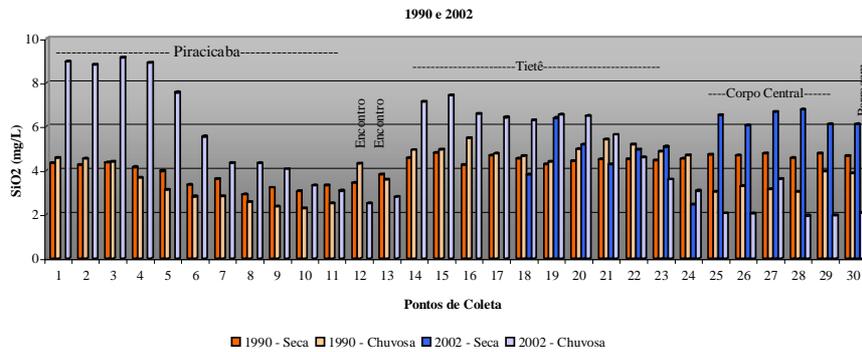


Figura 11. Valores de silicato reativo, nas estações seca e chuvosa de 1990 e 2002, nos compartimentos do reservatório de Barra Bonita/SP.

## Conclusões

Dos parâmetros de qualidade da água do reservatório de Barra Bonita analisados temporalmente (1990 e 2002), os que apresentaram uma maior relação com a degradação da água foram: nitrato, fósforo total e clorofila *a* total. Ao se considerar o reservatório de Barra Bonita como um sistema aquático com compartimentos diferenciados, quanto à qualidade da água e entrada de poluentes, concluiu-se que o “braço” do Rio Tietê é o que apresenta teores mais elevados de material orgânico, provindo dos esgotos domésticos e industriais dos grandes centros urbanos (fontes pontuais de poluição). Neste caso, deve-se destacar a clorofila *a* total, a transparência da água, o nitrito, o nitrato, o amônio, o fosfato inorgânico dissolvido, o fosfato total dissolvido e a MSO. Quanto ao fósforo total, observou-se que os teores são maiores no “braço” do Rio Tietê na estação seca e no “braço” do Rio Piracicaba na estação chuvosa, mostrando que a bacia deste último contribui de forma mais significativa para a entrada de poluentes provindos de fontes difusas, relacionadas à agricultura, verificando também maiores teores de MSI e silicato reativo neste compartimento na estação chuvosa.

A partir dos resultados obtidos, verifica-se a importância do gerenciamento de recursos hídricos nas bacias dos principais afluentes do reservatório de

Barra Bonita, que são o Rio Tietê e o Rio Piracicaba, com investimentos significativos em tratamento de esgotos domésticos e industriais. No caso de identificação de local para a implementação de uma estação de tratamento de esgoto para mitigar a carga de poluentes que entram no reservatório, este braço do reservatório seria recomendado. Assim como a implementação de práticas agrícolas conservacionistas, tais como o plantio direto, reduzindo as fontes de poluição difusas. Neste caso, a revegetação de Áreas de Preservação Permanente (APP) poderia auxiliar na contenção de poluentes que atingem o reservatório pelo escoamento superficial. Políticas públicas e instrumentos econômicos com foco na conservação dos recursos hídricos precisam ser fomentados, como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), em ascensão no país.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Processo número 00/102682-1, pelo apoio financeiro e às equipes e infraestrutura disponibilizados para as coletas e análises das amostras de água pelo CRHEA/EESC/USP, DEBE/Universidade Federal de São Carlos e pela Divisão de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

## Referências

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th ed. Washington, DC, 1995. 1 v.
- ARCEIVALA, S. J. **Wastewater treatment and disposal: engineering and ecology in pollution control**. New York: M. Dekker, 1981. 892 p.
- BINI, L. M. Spatial variation of some limnological parameters in Barra Bonita reservoir (São Paulo, Brazil): a geostatistical approach. **Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie**, v. 26, pt. 2, p. 229-231, 1997.
- BRAGA, C. Z. F. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da concentração de clorofila-a, transparência e profundidade da água na Lagoa de Araruama, RJ**. 1998. 213 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- CALIJURI, M. C.; SANTOS, A. C. A. dos. Temporal variations in phytoplankton primary production in a tropical reservoir (Barra Bonita, SP - Brazil). **Hydrobiologia**, v. 445, n. 1, p. 11-26, Feb. 2001.
- CALIJURI, M. C.; SANTOS, A. C. A. dos; JATI, S. Temporal changes in the phytoplankton community structure in a tropical and eutrophic reservoir (Barra Bonita, S.P. - Brazil). **Journal of Plankton Research**, v. 24, n. 7, p. 617-634, 2002.
- CALIJURI, M. do C. **A comunidade fitoplanctônica em um reservatório tropical (Barra Bonita, SP)**. 1999. 211 f. Tese (Livre-Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade das águas superficiais no Estado de São Paulo 2013**. São Paulo: CETESB, 2014. (CETESB. Série relatórios). Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

ESTEVES, F. de A. (Coord.). **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 828 p.

FAO. **AQUASTAT website**. 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/aquastat>>. Acesso em: 20 set. 2013.

GOMES, L. C.; MIRANDA, L. E. Hydrologic and climatic regimes limit phytoplankton biomass in reservoirs of the Upper Paraná River Basin, Brazil. **Hydrobiologia**, v. 457, n. 1, p. 205-214, Aug. 2001.

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Produção agrícola municipal. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam>>. Acesso em: 10 ago. 2010.

KIRK, J. T. O. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. 3rd ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2011. 649 p.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la Tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.

MAIA, J. L.; MAUAD, F. F.; ALBERTIN, L. L. Uso de geotecnologias para análise espacial da qualidade da água no Reservatório de Barra Bonita - SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 141-149, abr./jun. 2008.

MAIA, J. L.; MAUAD, F. F.; VENÂNCIO, S. de S.; TEIXEIRA, F. J.; LOUREIRO, D. D. T.; ALBERTIN, L. L. Qualidade da água do reservatório de Barra Bonita - SP: análise temporal em diferentes profundidades. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17.; SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 8., 2007, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2007. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/55704c9724333b6b21366c28f1423e4d\\_64a26775a1f858cd4da141fa10c2bacd.pdf](https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/55704c9724333b6b21366c28f1423e4d_64a26775a1f858cd4da141fa10c2bacd.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2014.

MENEZES, J. M.; PRADO, R. B.; SILVA JUNIOR, G. C. da; MANSUR, K. L.; OLIVEIRA, E. dos S. de. Qualidade da água e sua relação espacial com as fontes de contaminação antrópicas e naturais: bacia hidrográfica do Rio São Domingos - RJ. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 687-698, out./dez. 2009.

NOVO, E. M. L. de M.; BARBOSA, C. C. de F.; FREITAS, R. M. de; SHIMABUKURO, Y. E.; MELACK, J.; PEREIRA FILHO, W. Seasonal changes in chlorophyll distributions in Amazon floodplain lakes derived from MODIS images. **Limnology**, v. 7, n. 3, p. 153-161, Dec. 2006.

NOVO, E. M. L. de M.; BRAGA, C. Z. F. **Relatório do Projeto Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos**. São José dos Campos: INPE, 1991. 75 p. (INPE-5271-PRP/159).

NOVO, E. M. L. de M.; BRAGA, C. Z. F.; LOBO, F. **II Relatório do Projeto Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos**. São José dos Campos: INPE, 1995. 111 p. (INPE-5620-PRP/189).

OLIVEIRA, J. B. de. **Solos do Estado de São Paulo**: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: IAC, 1999. 108 p. (IAC. Boletim científico, 45).

OLIVEIRA, L. C. de; GOMES, B. M.; BAUMGARTNER, G.; SEBASTIEN, N. Y. Variação espacial e temporal dos fatores limnológicos em riachos da microbacia do Rio São Francisco Verdadeiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 770-781, out./dez. 2008.

PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F. F. M. de; PRANDINI, F. L. P. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981. 2 v. (IPT. Monografias, 5).

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

PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. de M. Avaliação espaço-temporal da relação entre o estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP) e o potencial poluidor de sua bacia hidrográfica. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 19, n. 2, p. 5-18, dez. 2007.

SOTERO-SANTOS, R. B.; SILVA, C. R. de S. E.; VERANI, N. F.; NONAKA, K. O.; ROCHA, O. Toxicity of a cyanobacteria bloom in Barra Bonita Reservoir (Middle Tietê River, São Paulo, Brazil). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 64, n. 2, p. 163-170, Jun. 2006.

TUNDISI, J. G. Gerenciamento integrado de bacias hidrográficas e reservatórios: estudos de caso e perspectivas. In: NOGUEIRA, M. G.; HENRY, R.; JORCIN, A. (Org.). **Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata**. São Carlos, SP: Rima, 2005. p. 1-21.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631 p.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ABE, D. S. The ecological dynamics of Barra Bonita (Tietê River, SP, Brazil) reservoir: implications for its biodiversity. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, SP, v. 68, n. 4, p. 1079-1098, nov. 2008. Suplemento.

WISNIEWSKI, M. J. dos S. **Distribuição espacial e produção secundária da comunidade zooplancônica do reservatório de Barra Bonita - SP**. 1998. 240 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

WORLD BANK GROUP. **Sustaining water for all in a changing climate**: World Bank Group implementation progress report of the water resources sector strategy. Washington, DC, 2010. Disponível em: <<http://siteresources.worldbank.org/NEWS/Resources/sustainingwater.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

**Embrapa**

---

**Solos**