

# **Reservatórios que abastecem São Paulo: problemas e perspectivas**

***Marcelo Pompêo***  
***Viviane Moschini-Carlos***  
Organizadores

**Instituto de Biociências – IB/USP  
Universidade de São Paulo**

# **Reservatórios que abastecem São Paulo: problemas e perspectivas**



R433 Reservatórios que abastecem São Paulo: problemas e Perspectivas / organizadores: Marcelo Pompêo, Viviane Moschini-Carlos. -- São Paulo : Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 2020.

136 p. : il.

ISBN: 978-85-85658-82-3

1. Reservatórios (São Paulo). 2. Qualidade da Água.  
3. Ecologia. Pômpeo, Marcelo. II. Moschini-Carlos, Viviane.

Ficha Catalográfica elaborada por Elisabete da Cruz Neves. CRB-8/6228

# **Reservatórios que abastecem São Paulo: problemas e perspectivas**

***Marcelo Pompêo***  
***Viviane Moschini-Carlos***  
Organizadores

**Instituto de Biociências – IB/USP**  
**Universidade de São Paulo**

**São Paulo - 2020**

## Prefácio

Este livro surgiu do interesse do grupo que coordenamos em apresentar informações mais recentes e consolidadas sobre alguns reservatórios do Estado de São Paulo, especialmente daqueles que abastecem a Região Metropolitana de São Paulo.

Antes de tudo, trata-se de um livro de divulgação científica, mas procurou-se não deixar de lado a informação qualificada, respaldada pelos estudos executados pelo próprio grupo ou pelo emprego de outras fontes bibliográficas relevantes e recentes.

Um dos objetivos desta publicação é manter ativa a discussão sobre a importância dos mananciais empregados no abastecimento público, em especial os paulistas, sempre na direção de motivar nossos cidadãos a conhecer seus reservatórios e o que eles representam para o nosso dia a dia. Também é um motivador para que a população esteja vigilante sobre a qualidade das águas brutas e sedimentos dos reservatórios empregados no abastecimento público, e possa interpelar seus gestores e tomadores de decisões sobre os problemas passados e atuais, com vistas às soluções ambientalmente mais adequadas, aplicadas num futuro imediato. Servirá também para seus gestores e os tomadores de decisões, pois trará algumas críticas e sugestões, como forma de contribuir para a melhoria da qualidade das águas e dos sedimentos dos reservatórios, bem como há breve avaliação sobre seus atuais programas de monitoramento e formas de manejo desses mesmos reservatórios paulistas. Em decorrência de inúmeros problemas ocorridos no passado, a temática qualidade da água e soluções para sua melhoria sempre deve estar na ordem do dia, deste modo, será possível se antecipar e evitar problemas futuros, como os recentemente observados na cidade do Rio de Janeiro, em decorrência da presença de geosmina na água tratada ofertada para a população.

A produção deste livro só foi possível graças aos financiamentos aprovados pela Fapesp – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processos 2002/13376-4, 2006/51705-0, 2008/00784-3, 2009/16652-1, 2012/11890-4, 2013/08272-0, 2014/22581-8, 2016/17266-1, 2016/24528-2, 2019/10845-4) e pelo CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processos 475166/2006-6, 471404/2010-1, 471184/2006-3, 552540/2006-4, 470443/2008-1 e 400305/2016-0), aos quais somos imensamente gratos, pois permitiram desenvolver nossa estrutura de trabalho e executar pesquisas com competência e qualidade. Também agradecemos a Rede IBEPECOR (*Red Iberoamericana para la formulación y aplicación de protocolos de evaluación del estado ecológico, manejo y restauración de ríos*) (CYTED - Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento - Ref. P415RT0143), pela possibilidade da troca de experiências com colegas da América do Sul, no desenvolvimento de protocolos de avaliações da qualidade de nossas águas, sendo que muitas dessas experiências já foram incorporadas aos trabalhos do grupo que coordenamos e também neste manuscrito.

Aproveitamos a oportunidade e agradecemos a todos os nossos orientandos, que de modo muito dedicado, desde o início de nossa atividade profissional, em sua maioria sempre executaram mais do que esperávamos. Agradecemos aos nossos colegas, amigos e parceiros das instituições que hoje trabalhamos e aos colegas das demais instituições e laboratórios que passamos, no Brasil e no exterior, que sem dúvida foram modelos a serem seguidos, em particular nossos orientadores de mestrado e de doutorado. A Adriana Hypólito Nogueira, da Biblioteca do Instituto de Biociências da USP, pelo auxílio na normatização do manuscrito.

Em especial agradecemos ao Prof. Dr. Eduardo Vicente, do Departamento de Microbiologia e Ecologia, da Faculdade de Biologia, da Universidade de Valência, Campus de Burjasot, Burjasot, Espanha. O prof. Eduardo, catedrático e emérito, é um dos grandes especialistas espanhóis, conhecedor de inúmeros aspectos da ecologia de reservatórios das bacias do rio Ebro e Jucar, entre outras, das lagoas costeiras próximas à cidade de Valência, em especial a Albufera de Valência, além dos lagos cársticos de Cañada Del Hoyo, como a emblemática lagoa meromítica de La Cruz. Seus estudos com fitoplâncton, zooplâncton, ecologia microbiana, paleolimnologia e sedimento, entre outros temas, e mais recentemente com geoprocessamento, sem dúvida o colocam como um dos mais experientes e completos pesquisadores na área de ecologia e limnologia. Nestes últimos anos consolidamos não só uma parceria científica com seu grupo de pesquisa, mas também uma grande amizade. O Eduardo é sempre generoso em inúmeros aspectos, mas em especial sem limites para passar seu conhecimento e sempre contamos com sua disposição para seguirmos firmes e animados no trabalho. Que sigamos assim.

Marcelo Pompêo  
Viviane Moschini-Carlos

São Paulo, 14 de março de 2020.

“Quando a ciência se deixa claramente cooptar por uma tecnologia cujos objetivos são mais econômicos do que sociais, ela se torna tributária dos interesses da produção e dos produtores hegemônicos, e renuncia a toda vocação de servir à sociedade.”

**Milton Santos**

***Metamorfoses do espaço habitado*, p. 22  
Edusp, 6. edição, 2. reimpressão, 2014.**

## **Sumário**

<b>Prefácio</b>	<b>v</b>
<b>Capítulo 1</b> <b>Os reservatórios Jaguari-Jacareí</b>	<b>2</b>
<b>Capítulo 2</b> <b>O reservatório Cachoeira</b>	<b>13</b>
<b>Capítulo 3</b> <b>O reservatório de Atibainha</b>	<b>25</b>
<b>Capítulo 4</b> <b>O reservatório Paiva Castro</b>	<b>36</b>
<b>Capítulo 5</b> <b>O reservatório Guarapiranga</b>	<b>52</b>
<b>Capítulo 6</b> <b>O reservatório Billings</b>	<b>64</b>
<b>Capítulo 7</b> <b>O reservatório Pedro Beicht</b>	<b>83</b>
<b>Capítulo 8</b> <b>Limnologia da paisagem: fragilidade potencial de bacias de captação de reservatórios no Estado de São Paulo</b>	<b>92</b>
<b>Capítulo 9</b> <b>Considerações finais: sugestões e perspectivas</b>	<b>129</b>

# CAPÍTULO 1



# OS RESERVATÓRIOS JAGUARI-JACAREÍ

Bruno Paes De Carli<sup>1</sup>

Daniele Frascareli<sup>2</sup>

Philippe Riskalla Leal<sup>3</sup>

Viviane Moschini-Carlos<sup>4</sup>

Marcelo Pompêo<sup>5</sup>

1 – Biólogo Marinho e Doutor em Ciências Ambientais, Professor adjunto da Universidade Paulista (UNIP)

2 – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de Sorocaba

3 – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

4 – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de Sorocaba

5 – Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo

## O Sistema Cantareira

O Sistema Cantareira (SC) é o mais importante manancial de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) localizado ao norte da Grande São Paulo. O SC produz mais de 30 mil litros por segundo e abastece cerca de 8,8 milhões de pessoas (46% da população da RMSP), residentes nas zonas norte, central, parte da leste e oeste da capital e nos municípios de Franco da Rocha, Francisco Morato, Caieiras, Osasco, Carapicuíba e São Caetano do Sul e ainda parte dos municípios de Guarulhos, Barueri, Taboão da Serra e Santo André. É composto por 6 represas interligadas por um sistema de canais e túneis por derivações fazendo a transposição das águas entre as bacias hidrográficas do rio Tietê e do Piracicaba. O último reservatório (Águas Claras) é destinado a manter o fluxo para uma estação de tratamento. O sistema Jaguari-Jacareí, primeiro da série de reservatórios, é constituído por duas barragens formadas por dois corpos centrais receptores dos rios Jaguari e Jacareí (Figura 1.1) (GIATTI, 2000; WHATELY & CUNHA, 2007).

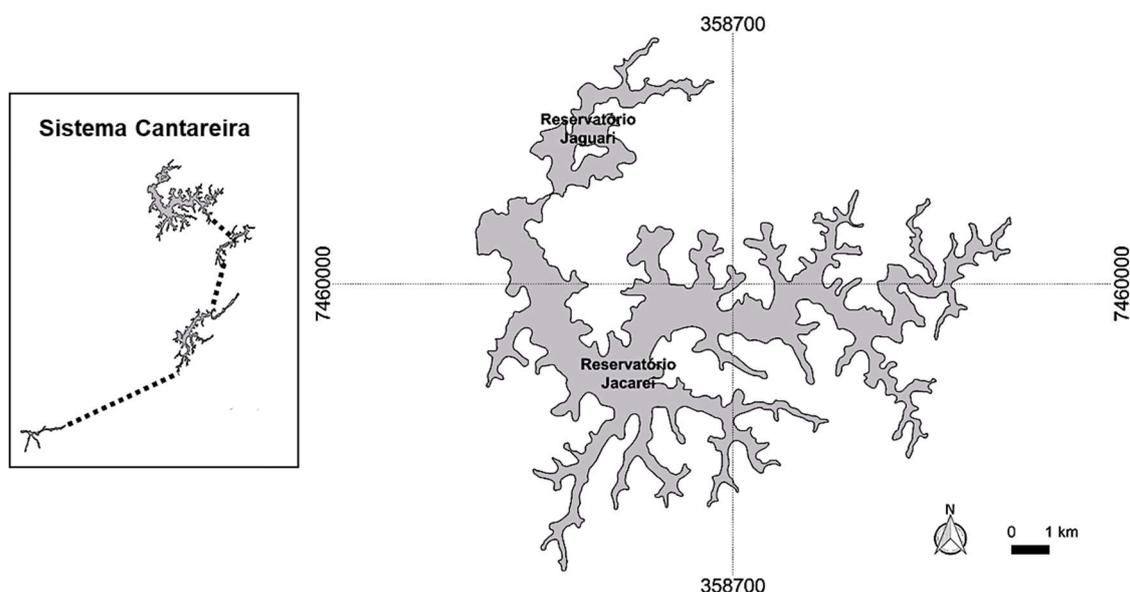


Figura 1.1 - Mapa do Sistema Cantareira e dos reservatórios Jaguari e Jacareí

### Aspectos históricos, hidromorfométricos e socioambientais

O atual SC, inicialmente denominado Sistema Juqueri, começou a ser idealizado em 1962 pela Comissão Especial para o Planejamento das Obras de Abastecimento e Distribuição de Água da Capital, com o aproveitamento das águas do rio Juqueri e que, em etapas futuras, receberia as contribuições dos rios Atibainha, Cachoeira e Jaguari, com uma adução de 17 m<sup>3</sup> (Tabela 1.1). Devido o porte e a complexidade do problema de escassez hídrica na região metropolitana de São Paulo, o Governo do Estado de São Paulo decidiu colocar a questão do aproveitamento dos recursos hídricos do Alto Tietê em patamares condizentes e então, em 1966, teve início a construção do Reservatório Paiva Castro, no rio Juqueri, a primeira obra do Sistema Cantareira. A esta pequena obra seguiu-se outras de maior porte, situadas nas cabeceiras da bacia do rio Piracicaba. Nesta última foram construídas barragens para a formação dos reservatórios Cachoeira, Atibainha e Jaguari-Jacareí (1981) (CONSÓRCIO PCJ, 2013; PORTO *et al.*, 2014).

Os reservatórios Jaguari e Jacareí entraram em operação em 1982 e são considerados os maiores fornecedores do SC, contribuindo com a produção de mais de 20 mil litros/s que equivale a 45% do total. A área de inundação estende-se por parte dos municípios de Vargem, Bragança Paulista, Joanópolis e Piracaia. Essas represas estão ligadas ao reservatório Cachoeira através do túnel 7, com 5.885 m de extensão. A área do reservatório Jacareí é maior que a do Jaguari, mas a maior vazão afluyente é produzida pelo Rio Jaguari (GIATTI, 2000; WHATELY & CUNHA, 2007; SCHIAVONE *et al.*, 2012).

A cidade de Extrema (MG) por onde passa o Rio Jaguari, importante fonte de água para o SC, foi pioneira no Brasil em adotar o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) através do projeto intitulado “Conservador das águas” (Figura 1.2). O PSA tem como objetivo a preservação das nascentes cujas águas desembocam no rio Jaguari; para isto o projeto conta com a participação da Agência Nacional de águas (ANA), Prefeitura Municipal de Extrema, *The Nature Conservancy* (TNC), Instituto Estadual de Florestas (IEF) e Governo do Estado de Minas Gerais. Os resultados desta ação em conjunto que teve início em 2007 e até os dias atuais, teve um somatório de 754.153 mil árvores plantadas e estima-se que 500 nascentes e 7.300 mil hectares protegidos foram recuperadas neste período. A iniciativa foi premiada em diversos eventos nacionais e internacionais, além de Extrema (MG) ser considerado o melhor município de Minas Gerais no quesito meio ambiente. As atividades realizadas para recuperação das nascentes associaram a educação ambiental às ações e com isso, conseguiu alcançar uma quantidade de 9 milhões de pessoas beneficiadas com o projeto que são abastecidas com água do SC (ANA, 2018; BRASIL, 2016).

Inicialmente, as represas foram construídas para regular as cheias, para irrigação, abastecer a população e para a pesca. Atualmente são construídas principalmente para geração de energia elétrica, mas também para outros fins, como a atividade turística (MORAIS, 2010). As principais atividades identificadas no entorno dos reservatórios Jaguari e Jacareí foram a pecuária, a presença de olarias, atividades de mineração, urbanização e turismo. O turismo representa uma das mais impactantes e transformadoras no tocante a paisagem e condições ambientais (HOEFFEL *et al.*, 2008).

Tabela 1.1 - Características hidrológicas das represas Jaguari e Jacareí do Sistema Cantareira

Informações/ Mananciais	Jaguari/Jacareí
Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	1027/203
Início de operação	1982
Volume útil (hm <sup>3</sup> )	808,12
Vazão média (m <sup>3</sup> /s)	25,2
Cota altimétrica (m)	844,0
Tempo de retenção (dias)	368,5
Sub-bacias hidrográficas	Rio Jaguari/Jacareí

Fonte: Whatley e Cunha (2007); Neto e Barros (2010)



Geomorfologicamente, os reservatórios Jaguari-Jacareí estão inseridos no Planalto Atlântico, com característica de relevo bastante movimentado de rochas metamórficas e ígneas de idade arqueana e proterozóica (BRISTICHI, 2001). Em relação ao clima, este é úmido e frio, com temperaturas médias de 19,4 °C e a precipitação média de outubro a março de 246,43 e de abril a setembro 86,57 mm/ano (dados dos anos 1946 a 2016) (DAEE, 2018). O clima predominantemente do entorno do SC segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfa (subtropical com temperatura  $\geq 22^\circ\text{C}$ ) e manchas com clima do tipo Cwb (subtropical temperado) (ROLIM *et al.*, 2007).



No entorno desses reservatórios, a vegetação original pertence ao bioma de Mata Atlântica, e atualmente, consiste em mata secundária. Em um levantamento de uso e ocupação do solo dos anos 1984/1985 a 2006 nos reservatórios Jaguari e Jacareí, os resultados indicaram um aumento da área de floresta de 12,12% para 23,46% e da área urbana de 0,54 para 1,44% (OLIVEIRA *et al.*, 2008). O aumento da área de floresta foi explicado pela ascensão da floresta ripária que se deu pelas características fenológicas da vegetação que respondem a sazonalidade. A agropecuária e área alagada tiveram uma pequena redução e a silvicultura um pequeno aumento. A redução da área alagada esteve relacionada ao período de seca (setembro) e da agropecuária em função da expansão urbana, enquanto o aumento da silvicultura é explicado pelo replantio (OLIVEIRA *op. cit.*).

Dobrovolski & Rattis (2015) fizeram uma avaliação das causas das reduções dos níveis de água do SC após a seca de 2014. Nessa pesquisa, relatou-se que apesar do Brasil conter uma contribuição arbórea amazônica representativa que contribui ativamente para as precipitações no sudeste do Brasil, as atividades intensas de desmatamento influenciam na redução das precipitações e, conseqüentemente, no volume de água no SC. Convém ressaltar que o desmatamento da Floresta Atlântica e do Cerrado também são citados no trabalho. Desta forma, os autores supracitados sugeriram um investimento financeiro na conservação e preservação das

matas ciliares como ocorreu na cidade de New York há 20 anos atrás, um plano de ação parcimonioso que visa aumentar a disponibilidade de água no SC.



Figura 1.2 - a) Projeto Conservador das águas e b) bacias monitoradas em Extrema através do PSA  
Fonte: Minas Gerais. Prefeitura de Extrema. Secretaria do Meio Ambiente. Projeto Conservador das Águas

## Qualidade da água

Como mencionado, as represas Jaguari e Jacareí são formados por corpos d'água que compreendem municípios dos estados de Minas Gerais e São Paulo. A localização interestadual dos formadores destes reservatórios tem diferentes implicações a respeito dos usos e ocupações além da própria qualidade que é um reflexo destes usos. Entretanto, estes reservatórios têm em comum uma gestão administrada por órgãos estatais cujos avanços são reconhecidos no Brasil: o Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM), a Companhia Ambiental do estado de São Paulo (CETESB) e o suporte da Agência Nacional de Águas (ANA). Todos estes órgãos possuem um sistema de monitoramento de qualidade de água bem como plataformas que comportam claramente as informações a respeito, assim, favorecendo uma gestão clara e eficiente dos recursos hídricos (IGAM, 2018; CETESB, 2018; ANA, 2018).

Segundo o IGAM, o principal tributário da represa Jaguari (rio Jaguari) no ano de 2016 e 2017 apresentou um índice de qualidade de água (IQA) ruim (Relatório IGAM, 2017). O índice de estado trófico (IET) variou de mesotrófico a oligotrófico sendo que as concentrações de fósforo total na água estiveram em desconformidade com os padrões estabelecidos para os anos de 2015 e 2017. Também foi detectado chumbo total e em relação a contaminação fecal (*Escherichia coli*), os parâmetros também apresentaram desconformidade com a legislação vigente (Figura 1.3). Em 2017, em relação a contaminação para metais tóxicos, o rio Jaguari manteve-se com classificação baixa em 100% das coletas para o ano (IGAM, 2016 e 2017).

Enquanto no reservatório Jaguari, de acordo com a Cetesb (relatório 2017), houve uma piora na qualidade em relação ao IQA e IET de 2011 a 2016 explicado pela redução do regime de chuvas. Nos reservatórios Jaguari e Jacareí, o IET indicou uma piora atribuída as altas concentrações de fósforo na água, e, ainda foram observadas a presença de *E. coli* devido ao lançamento de efluentes (CETESB, 2017). A CETESB também faz o monitoramento do rio Jaguari que por sua vez constatou o aumento dos graus de trofia variando de oligotrófico para mesotrófico.

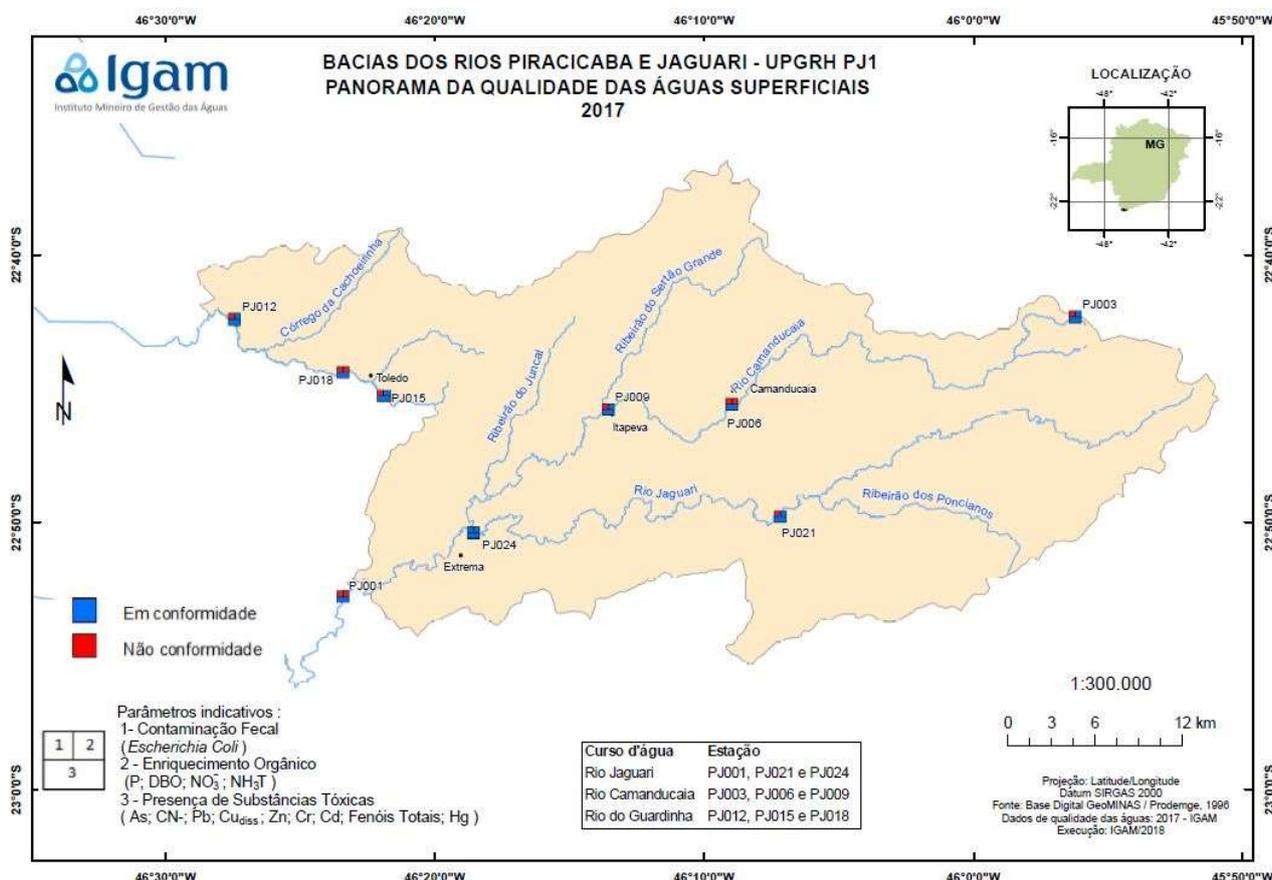


Figura 1.3 - Bacia dos rios Piracicaba e Jaguari contendo informações qualitativas de monitoramento  
 Fonte: IGAM, 2017

## Heterogeneidade ambiental

Em reservatórios artificiais comumente verificam-se mudanças nas condições ambientais com considerando os eixos verticais (profundidade) e horizontais. Nesse contexto podem ser observados três compartimentos: porção fluvial com características lótic, região de transição e zona próxima à barragem com características lênticas (THORNTON *et al.*, 1990).

Nascimento (2012) visou avaliar a distribuição temporal e espacial das diatomáceas planctônicas e bentônicas da represa Jaguari-Jacareí. Nesse estudo, foi possível observar que os indivíduos do gênero *Aulacoseira* sofreram influência da circulação da água no período do inverno; e no verão seguiram o gradiente de temperatura e da estratificação térmica. No geral, a distribuição dos táxons (*Aulacoseira*, *Cyclotella*, *Discostella* e *Thalassiosira*) do sedimento esteve relacionada com a profundidade da represa que por sua vez foi influenciada pelos tributários.

Em relação à fauna planctônica, observou-se grande similaridade na composição do zooplâncton (Copepoda e Cladocera) entre os reservatórios Jaguari e Jacareí. Por outro lado, diferenças foram observadas entre os reservatórios no tocante a composição dos rotíferos. Sete espécies ocorreram somente no reservatório Jacareí (*Ascomorpha ecaudis*, *Asplanchna sieboldi*, *Keratella americana*, *Keratella lenzi*, *Conochillus dossuarius*, *Trichocerca similis* e *Conochillus coenobasis*), enquanto o restante ocorreu nos dois corpos d'água, com exceção de *Trichocerca capuccina* que esteve presente no reservatório Jaguari. Ressalta-se que nos períodos chuvoso e seco foi verificado maior riqueza de espécies na represa Jaguari. Maiores valores de biomassa e densidade foram constatados na represa Jaguari, demonstrando assim, a heterogeneidade espacial e temporal da comunidade zooplânctônica (GAZONATO-NETO *et al.*, 2014; DE-CARLI *et al.*, 2017).

Em todo o Sistema Cantareira (Jaguari, Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro), Pompêo *et al.* (2017) investigaram a variação espacial da qualidade da água e do sedimento superficial com ênfase nas concentrações de nitrogênio e fósforo. Apesar do SC ser considerado um complexo multi-sistema, composto por diferentes rios de bacias distintas, foi possível observar

um gradiente do tipo “cascata” onde somente um grande rio é represado (POMPÊO *et al.*, *op. cit.*). Os reservatórios mais à montante, principalmente o Jaguari, funcionam como acumulador de nutrientes e desse modo se tornam mais eutróficos.

### Perspectivas futuras

A água na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) tem se tornado um desafio cada vez maior para a gestão pública diante de um cenário de estiagem prolongada e crescimento demográfico. O SC apresentou uma redução drástica da capacidade de fornecimento hídrico desde 2010, o que revela problemas de gestão pública envolvendo a ocupação irregular das áreas dos mananciais, o desmatamento, a poluição, etc. (SOUSA & SILVA, 2014).

Por meio de análises de séries temporais, é possível observar alterações no padrão das vazões dos principais rios formadores (Jaguari, Atibaia e Piracicaba) que coincidem com o histórico da construção e operação do SC que por sua vez desloca as águas para a Região Metropolitana de São Paulo (FREDERICE & BRANDÃO, 2016).

Por esta tendência já observada de aumento ou carreamento de substâncias orgânicas e inorgânicas entre reservatórios deste sistema no sentido montante-jusante (MATTA, 2016), complementando com os dados observados dos índices avaliados pelos órgãos ambientais, faz-se necessário direcionar esforços de longo prazo para conservação dos reservatórios Jaguari/Jacareí, com intuito de favorecer a disponibilidade de água em quantidade e qualidade para regiões beneficiadas.



Um dos meios para contribuir com a conservação está atrelada às ações de educação ambiental que favorecem a reaproximação da população com as questões hídricas e assim podendo influenciar as ações públicas. Apesar das cobranças sociais e o modo de gestão de recursos hídricos gerarem descontentamento da grande maioria da população, a participação social nos comitês de bacias e em outros órgãos pertinentes podem auxiliar no planejamento ambiental.

Além disso, a escassez de água e o racionamento causam um impacto social de grande magnitude principalmente na população menos favorecida economicamente. No Brasil, um País com inúmeros recursos naturais, o problema da escassez deveria ser tratado como de alta urgência. Entretanto, nos últimos anos eventos atípicos e a questão relacionada a gestão das águas mostram o contrário. A população brasileira deve estar atenta para demanda e oferta, pois o desenvolvimento devido ao aumento populacional faz com quem muito mais recursos naturais sejam demandados.

Apesar de ser uma constatação óbvia, de que o aumento da população demande recursos, todos os atores envolvidos demonstram um despreparo para arcar com as consequências da falta de água. Com a crise de 2014, a cidade de Itu (SP) teve um colapso na distribuição de água para a população permanecendo 12 meses em racionamento, além das interrupções totais de até 20 dias no abastecimento de água encanada para 165 mil habitantes (DAVIS, 2016). Magalhães (2015) afirma que a falta de água afetou a dignidade da população provocando uma revolta popular nessa cidade.

Assim, o futuro dos recursos hídricos deve ser apoiado por ações preventivas e não emergenciais como: educação ou reeducação ambiental, racionamento e ações públicas relacionadas a melhor gestão. O poder público deve manter ações que visem a continuidade da distribuição a longo prazo, como foi a transposição do rio Jaguari para o rio Atibainha. A sociedade deve cobrar dos geradores de produtos e serviços o reaproveitamento de materiais, uso sustentável da água, tratamento de efluentes e outras iniciativas sustentáveis. Ações como estas podem auxiliar na melhoria ambiental.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Boletins de qualidade de água**. Brasília, DF: ANA. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/>. Acesso em: 25 de maio de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Programa produtor de água**. Brasília, DF: ANA. Disponível em: <http://produtordeagua.ana.gov.br/ProjetoExtrema-MG.aspx>. Acesso em: 16 de abril de 2016.

BISTRICHI, C. A. **Análise estratigráfica e geomorfológica do cenozóico da Região de Atibaia-Bragança Paulista, Estado de São Paulo**. 2001. 184 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo.

BRASIL. Governo do Brasil. **Notícia**: conservador das águas de Extrema (MG) é referência nacional. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/03/conservador-das-aguas-de-extrema-mg-e-referencia-nacional>. Acesso em: 16 de abril de 2016.

CARDOSO-SILVA, S. **Heterogeneidade espacial e a qualidade das águas superficiais do reservatório Guarapiranga (São Paulo – SP – Brasil)**. 2008. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatórios de monitoramento da qualidade das águas**. São Paulo: CETESB. Disponível em: <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 25 de maio de 2018.

CONSÓRCIO PCJ. **Sistema Cantareira**: um mar de desafios (Versão 1.1). Compilado de textos, informações e subsídios voltados a renovação da outorga do Sistema Cantareira. São Paulo, 2013. 30 p.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Portal de hidrologia com banco de dados hidrológicos da cidade de Nazaré Paulista**. São Paulo: DAEE. Disponível em: <http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br>. Acesso em: 06 de abril de 2018.

- DAVIS, P. G. Considerações sociopolíticas acerca da crise hídrica em Itu (SP). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE ANTROPOLOGIA, 30., 2016, João Pessoa. **Anais** [...]. João Pessoa: UFPB, 2016.
- DE-CARLI, B. P.; LOPEZ-DOVAL, J. C.; RODRIGUES, E. H. C.; POMPÊO, M. L. M. 2017. Variação espacial e sazonal do zooplâncton nos reservatórios do Sistema Cantareira, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 12, n. 4, p. 666-679, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1935>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1980-993X2017000400666](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2017000400666). Acesso em: janeiro de 2019.
- DOBROVOLSKI, R.; RATTIS, L. Water collapse in Brazil: the danger of relying on what you neglect. **Natureza e Conservação**, v. 3, n. 1, p. 80-83, jan./jun. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ncon.2015.03.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S167900731500016X?via%3Dihub>. Acesso em: fevereiro de 2019.
- DOWNING, J. A. Biological heterogeneity in aquatic ecosystems. In: KOLASA, J.; PICKETT, S. T. A. **Ecological heterogeneity**. New York: Springer-Velag, 1991. p.160- 180.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998
- FORTIN, M. J.; DALE, M. R. **Spatial analysis: a guide for ecologists**. Cambridge: University Press, 2005. 358 p.
- FREDERICE, A.; BRANDÃO, J. L. B. Efeito do Sistema Cantareira sobre o regime de vazões na bacia do rio Piracicaba. **RBRH**, v. 21, n. 4, p. 797-810, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011615150>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2318-03312016000400797&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312016000400797&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: março de 2019.
- GAZONATO-NETO, A. J.; SILVA, L. C.; SAGGIO, A. A.; ROCHA, O. Zooplankton communities as eutrophication bioindicators in tropical reservoirs. **Biota Neotropica**, v. 14, n. 4, p. 1-12, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1676-06032014001814>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1676-06032014000400104&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032014000400104&lng=en&tlng=en). Acesso em: março de 2019.
- GIATTI, L. L. **Reservatório Paiva Castro-Mairiporã-SP: avaliação da qualidade da água sobre alguns parâmetros físicos, químicos e biológicos (1987/1998)**. 2000. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Saúde Pública. Departamento de Saúde Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- HOEFFEL, J. L.; FADINI, A. A. B.; MACHADO, M. K.; REIS, J. C. Trajetórias de Jaguaré e unidades de conservação, percepção ambiental e turismo: um estudo da APA do Sistema Cantareira, São Paulo. **Ambiente Sociedade**, v. 11, p. 131-148, 2008.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Dados de monitoramento da qualidade das águas**. Belo Horizonte: IGAM. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/monitoramento-da-qualidade-das-aguas2>. Acesso em: 25 de maio de 2018.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2016**: resumo executivo. Belo Horizonte: IGAM, 2017. 172 p.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2017**: resumo executivo anual. Belo Horizonte: IGAM, 2018. Disponível em: <http://200.198.57.118:8080/handle/123456789/2928>. Acesso em: 01 de novembro de 2019.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Relatório qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2016**. Belo Horizonte: IGAM, 2017. Disponível em: <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/publicacoes-tecnicas/qualidade-das-aguas/qualidade-das-aguas-superficiais/relatorios-de-avaliacao-de-qualidade-das-aguas-superficiais/relatorios-anuais/2016/12172-resumoexecutivocompleto-2016>. Acesso em: 16 de abril de 2018.
- KOLASA, J.; ROLLO, C. D. Introduction: The heterogeneity of heterogeneity: A glossary. In: KOLASA, J.; PICKETT, S. T. A. **Ecological heterogeneity**. New York: Springer- Velag, 1991. p.1-23.

- LANDA, G. G.; DEL AGUILA, L. M. R.; PINTO-COELHO, R. Distribuição espacial e temporal de *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera) em um grande reservatório tropical (reservatório de Furnas), Estado de Minas Gerais, Brasil. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 2, p. 313-319, 2002.
- MAGALHÃES, D. **A luta pela água em Itu (SP): etnografia de uma crise hídrica**. Disponível em: <http://www.seminariodosalunos.com/pdf/2015/danilo-magalhaes.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2018.
- MATTA, A. L. P. **Dinâmica do plâncton no reservatório Paiva Castro: heterogeneidade espacial e temporal (Sistema Cantareira-SP)**. 2019. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MINAS GERAIS. PREFEITURA DE EXTREMA. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Projeto Conservador das Águas**. Disponível em: <http://www.extrema.mg.gov.br/conservadorasaguas>. Acesso em: 16 de abril de 2018.
- MORAIS, M. A. O. **O Sistema Cantareira e a análise de impactos socioambientais da construção da represa do Jaguari-Jacareí, São Paulo**. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo.
- NASCIMENTO, M. N. **Biodiversidade e distribuição das diatomáceas planctônicas e de sedimento superficial em represa profunda oligotrófica (Sistema Cantareira, Represa Jaguari-Jacareí)**. 2012. 151 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) - Instituto de Botânica, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo.
- NETTO, N. P.; BARROS, L. A. A. B. **Uma história visual da construção do Sistema Cantareira**. São Paulo, 2010.
- NOGUEIRA, M. G.; PANARELLI, E. Estudo da migração vertical das populações zooplancônicas na Represa de Jurumirim (Rio Paranapanema-São Paulo, Brasil). **Acta Limnologica Brasiliense**, v. 9, p. 55-81, 1997.
- OLIVEIRA, P. E.; GOMES, A. R.; SANCHES, R. C.; SAAD, A. R. Análise da evolução da paisagem no entorno da represa dos rios Jaguari e Jacareí, Estado de São Paulo, com base em sensoriamento remoto e SIG. **Geociências**, v. 27, n. 4, p. 527-539, 2008.
- POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; LÓPEZ-DOVAL, J.; ABDALLA-MARTINS, N.; CARDOSO-SILVA, S.; FREIRE, R.; BEGHELLI, F.; BRANDIMARTE, A.; ROSA, A.; LÓPEZ, P. Nitrogen and phosphorus in cascade multi-system tropical reservoirs: water and sediment. **Limnological Review**, v. 17, n. 3, p. 133-150, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1515/limre-2017-0013>. Disponível em: <https://content.sciendo.com/view/journals/limre/17/3/article-p133.xml>. Acesso em: março de 2019.
- PORTO, R. L.; PORTO, M. F. A.; PALERMO, M. A ressurreição do volume morto do Sistema Cantareira na Quaresma. **Revista DAE**, v. 62, p. 18-25, 2014.
- SCHIAVONE, D. C.; MONZANE, T. E. G.; LUCCA, J.V. Inventário taxonômico preliminar da comunidade bentônica nos reservatórios do rio Jaguari e do rio Jacareí - Sistema Cantareira SABESP. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 8, p. 223-234, 2012.
- SOUSA, V. A. S.; SILVA, D. R. M. Abastecimento público de água da Região Metropolitana de São Paulo. **Revista Interação**, v. 2, p. 11-27, 2014.
- THORNTON, K. E.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E. **Reservoir Limnology: ecological perspectives**. New York: John Wiley & Sons. New York, 1990. 246 p.
- TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. **Fundamentos em Ecologia**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 592 p.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632 p.
- WHATELY, M.; CUNHA, P. **Cantareira 2006: um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: Instituto Sócio-Ambiental, 2007. 68 p.

# CAPÍTULO 2

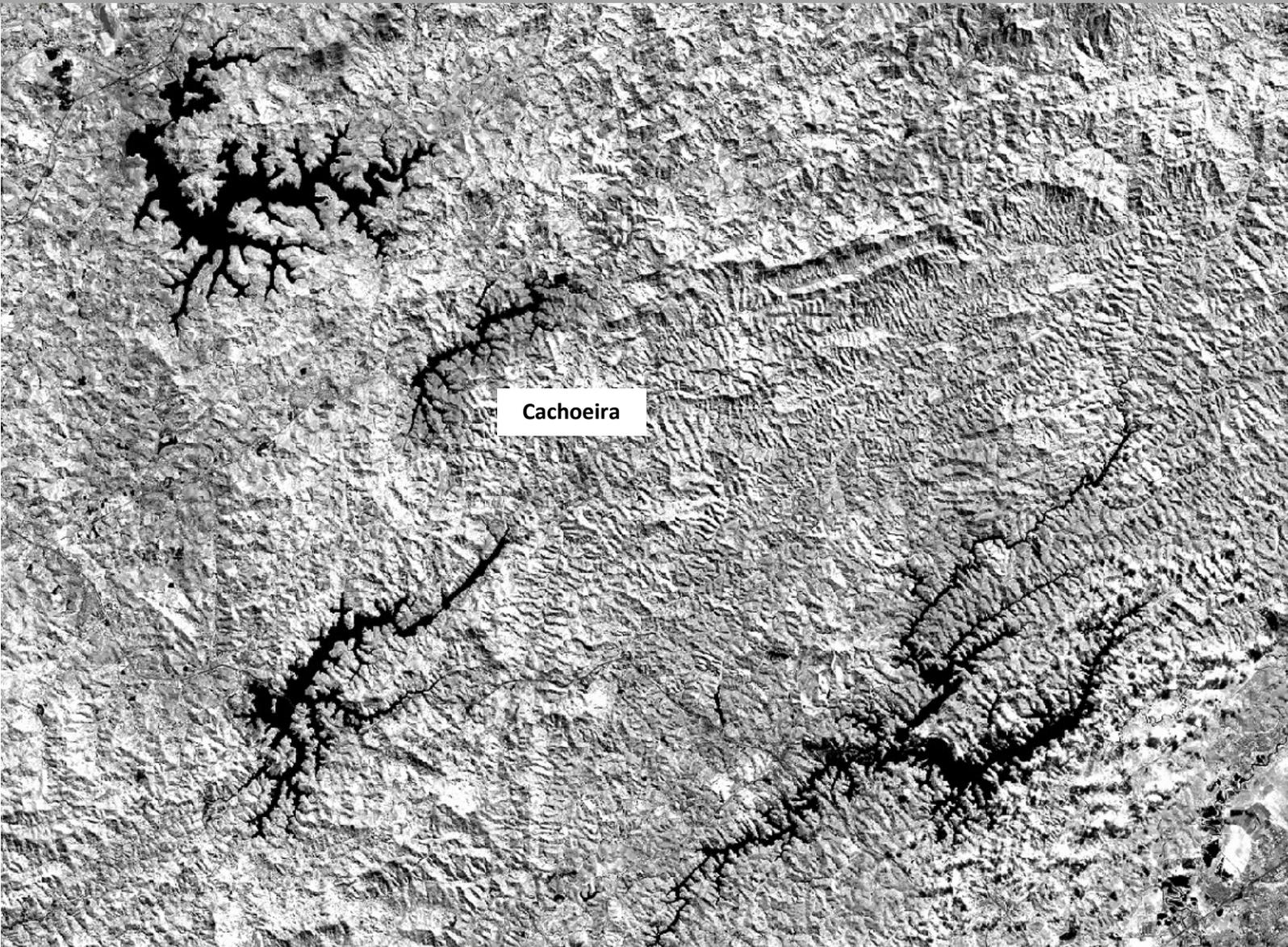


Imagem Setinel 2A - Banda 8A - S2A\_MSIL1C\_20180726T131241\_N0206\_R138\_T23KLO\_20180726T150758.SAFE

# O RESERVATÓRIO CACHOEIRA

Frederico Guilherme de Souza Beghelli

Professor do curso de tecnólogo em Gestão Ambiental<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fatec Itapetininga – “Antonio Belizandro Barbosa de Rezende” - Itapetininga/SP  
fred\_sb@hotmail.com

## Introdução

O reservatório Cachoeira é o segundo reservatório que compõe o Sistema Cantareira (Figura 2.1), integrante da bacia do rio Piracicaba. Situado em área de domínio de Mata Atlântica, entrou em operação em 1974, três anos após o reservatório Águas Claras - o primeiro do Sistema.

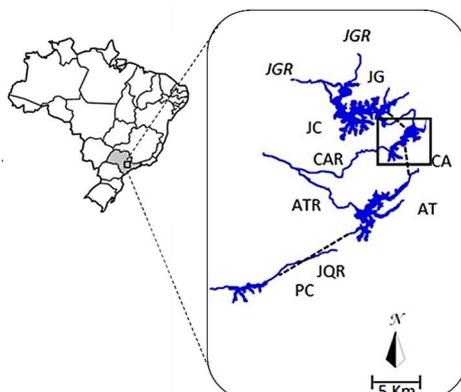


Figura 2.1 - Mapa do Sistema Cantareira, destacando o reservatório Cachoeira (CA). As retas tracejadas indicam os túneis que interligam os reservatórios Jaguari (JG) – Jacareí (JC) ao Cachoeira; o Cachoeira ao Atibainha (AT) e o Atibaia ao Paiva Castro (PC). Também estão representados os rios formadores dos reservatórios: rio Jaguari (JGR); rio Cachoeira (CAR), rio Atibaia (ATR) e rio Juquery (JQR)

O Cachoeira é formado pelo barramento das águas do rio de mesmo nome, que nasce na porção mineira da Área de Proteção Ambiental Piracicaba, sendo represado no município paulista de Piracaia. Além das águas do rio, o Cachoeira recebe ainda influxos provenientes do sistema Jaguari-Jacareí, a partir do reservatório Jacareí por meio de um túnel com 5885 m de extensão.

A jusante da barragem, o rio Cachoeira encontra-se com o rio Atibainha após este último passar pela represa de Atibaia para formar então o rio Atibaia (WHATELY; CUNHA, 2007). O reservatório Cachoeira tem suas águas transferidas para o reservatório Atibainha (vazão natural média = 8,7 m<sup>3</sup>/s equivalente a 21,64% da vazão natural média do Sistema Equivalente), que recebe suas águas por dois pontos: a partir de um túnel, com 4700 m de extensão e por meio de um canal de, aproximadamente, 1200 m (GONDIM-FILHO *et al.*, 2005).

### Água: oferta, demanda e fluxos

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) registra diariamente dados referentes ao nível dos reservatórios (NA) do Sistema Cantareira bem como a precipitação acumulada no barramento das represas e as vazões recebidas e liberadas pelos túneis que interligam os reservatórios, bem como aquela descarregada à jusante da barragem (SABESP – Dados de Monitoramento do Sistema Cantareira). Estes dados são de grande relevância para a compreensão da dinâmica de oferta e demanda dos recursos hídricos bem como da distribuição e origem de eventuais poluentes nas águas e sedimentos.

Com base nestas medições compreendendo o período de janeiro de 2015 a dezembro de 2017 (SABESP) observa-se a redução da pluviosidade na barragem do Cachoeira tanto no período seco quanto no período chuvoso sendo que os valores registrados em 2017 representaram, respectivamente, 57,7 e 66,8% dos totais registrados, respectivamente para as estações seca e chuvosa no ano de 2015. Esta redução alerta para a necessidade de gerenciamento dos recursos hídricos e implementação de políticas públicas para redução de consumo e preservação dos recursos já existentes afim de evitarem-se os problemas decorrentes da estiagem associada ao crescente consumo, desperdício e falta de políticas públicas para a proteção dos recursos hídricos conforme ocorrido em 2014 (OLIVEIRA-FILHO, 2015).

O nível da represa permaneceu em torno de 815,57 m, com pluviosidade média anual de 4,22 mm na barragem (médias de janeiro de 2016 a dezembro de 2017). Com relação às vazões,

a afluente, a partir do túnel 7 que chega no reservatório Cachoeira saindo da barragem Jaguari-Jacareí foi, em média, de  $11,89 \text{ m}^3/\text{s}$  enquanto as defluentes somam  $15,85 \text{ m}^3/\text{s}$  (0,74 pela barragem e o restante passa para o reservatório Atibainha via túnel 6). As Figuras 2.2 e 2.3 mostram as médias mensais para o período de 2015 a junho de 2018.

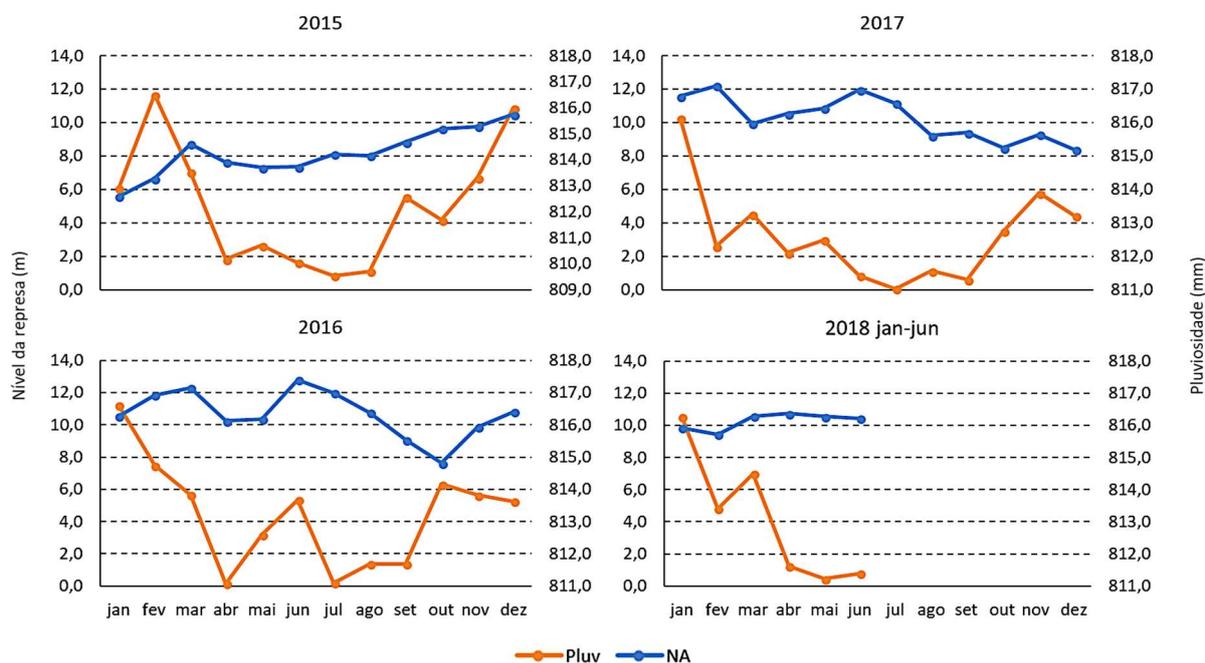


Figura 2.2 - Médias mensais de precipitação na barragem (Pluv) e do nível da represa (NA) no período de janeiro de 2015 a junho de 2018. Dados obtidos a partir dos registros da SABESP

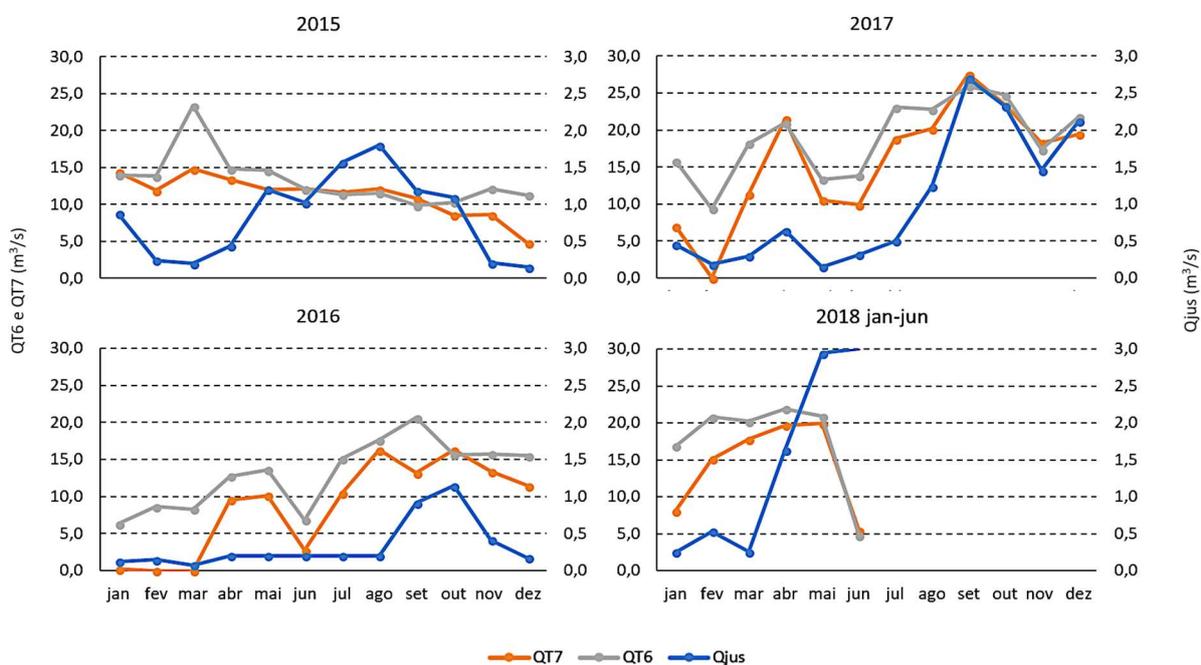


Figura 2.3 - Médias mensais das vazões do reservatório Jaguari-Jacareí para o Cachoeira via túnel 7 (QT7); deste para o Atibainha via túnel 6 (QT6) e a vazão liberada pela barragem do Cachoeira (Qjus). Dados referentes ao período de janeiro de 2015 a junho de 2018 obtidos a partir dos registros da SABESP

De forma geral, observa-se aumento dos fluxos nos períodos entre abril e maio e entre agosto e setembro, sendo este último o período de maiores vazões (estação seca). As vazões

registradas de janeiro a junho de 2018 destoam dos valores registrados no mesmo período em anos anteriores, especialmente a vazão liberada pela barragem.

Com relação à extensão da bacia de drenagem, esta inclui, parcialmente, três municípios: Camanducaia em Minas Gerais além de Joanópolis e Piracaia no estado de São Paulo. A Figura 2.4 mostra a porcentagem da bacia por município integrante.

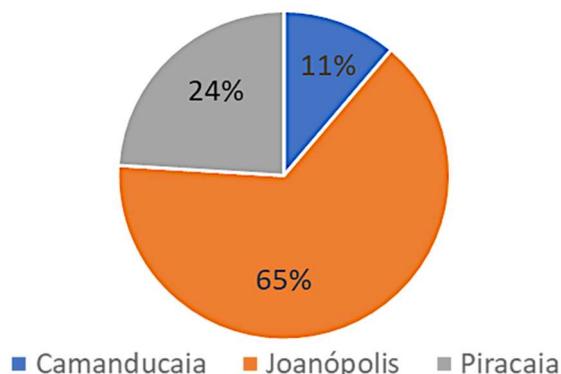


Figura 2.4 - Porcentagem de participação dos municípios em área na composição da bacia de drenagem do reservatório Cachoeira. Dados obtidos em Whately e Cunha (2007). Área total da bacia: 391,67 Km<sup>2</sup>

De modo geral os municípios apresentam baixa densidade populacional (65,51 hab./km<sup>2</sup> em Piracaia), sendo o município paulista, aquele que abriga a maior população absoluta bem como apresenta a maior densidade populacional. Com relação ao tratamento de esgoto, apenas Joanópolis apresenta porcentagem de esgotamento sanitário adequado acima de 80%. A Tabela 2.1 apresenta valores de população total estimada para 2017, densidade populacional e porcentagem de esgotamento sanitário (IBGE - Panorama; IBGE, 2010).

Tabela 2.1 - População e esgotamento sanitário. Fonte: IBGE. Ano base: 2010

Município	População	Densidade populacional (hab/km <sup>2</sup> )	Esgotamento sanitário (%)
Camanducaia (MG)	22057	38,89	66,3
Joanópolis (SP)	12974	31,44	81,5
Piracaia (SP)	26991	65,51	77,4

## Perfil socioeconômico

Camanducaia é uma pequena cidade localizada ao Sul de Minas Gerais. A cidade tem suas origens à margem direita do Rio Camanducaia onde se estabeleceu um povoado formado por fugitivos e aventureiros em busca de ouro durante o século XVIII. As primeiras casas teriam sido construídas por bandeirantes vindos de Atibaia (SP).

A região é circundada por montes e serras com clima agradável e águas límpidas. A cidade foi reconhecida como tal em 1868 sob o nome de Jaguary, tendo seu nome original retomado em 1925 (IBGE - Histórico). Há algumas divergências com relação ao significado do nome Camanducaia, que pode ser traduzido do tupi como feijão queimado, feijão sadio, feijão cru, fava picante ao paladar, queimada para caçar ou ainda queimada para lavoura (PREFEITURA DE CAMANDUCAIA - Histórico).

O clima da cidade é tropical de altitude Cwb sendo a agricultura o principal setor de atividade econômica. Destacam-se as culturas de batata, couve-flor, brócolis, milho e feijão bem como a criação de gado de corte de leite e suinocultura. Há ainda relevante participação do plantio de árvores de reflorestamento, destinados à construção civil e indústria de móveis (PREFEITURA DE CAMANDUCAIA - Economia).

Joanópolis (SP) situa-se na microrregião de Bragança Paulista nos contrafortes da Serra da Mantiqueira, fazendo divisa com o Sul de Minas Gerais. Os primeiros moradores da região, teriam se estabelecido nos altos cursos dos rios Cachoeira e Jaguari reunindo-se no local para

festejar São João Batista. O distrito foi criado em 1891 como São João do Currallinho e em 1893 pertencendo até 1895 ao município de Santo Antônio da Cachoeira. Em 1906 é reconhecido como cidade recebendo o nome atual, de Joanópolis, em 1917 (lei 1578). O nome da cidade significa “cidade do João” em homenagem ao padroeiro, São João Batista (IBGE - Histórico). Atualmente, Joanópolis é estância turística. Trata-se de uma típica cidade do interior que inclui atrativos da pequena cidade e outros naturais como cachoeiras e áreas preservadas de Mata Atlântica (PREFEITURA DE JOANÓPOLIS). Na agricultura, destacam-se as plantações de eucalipto e criação de gado leiteiro (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2018)

O município de Piracaia tem suas origens com a fundação do povoado em 16 de junho de 1817 no bairro Cachoeira, na época, integrante do município de Atibaia. Em 1836, o bairro é elevado à categoria de freguesia, sendo denominada freguesia de Santo Antônio de Cachoeira em homenagem ao padroeiro do povoado (PREFEITURA DE PIRACAIA). Em 1859, a região passa a ser reconhecida oficialmente como Município de Santo Antônio da Cachoeira. Somente em 1906 é que o município passa a ser denominado Município de Piracaia por meio da lei estadual 997/1906. O nome Piracaia, tem sua origem no idioma tupi e significa “peixe queimado”.

Do ponto de vista socioeconômico, as origens do município relacionam-se com a expansão da cafeicultura na região do Vale do Paraíba durante o século XIX. Com o declínio da produção cafeeira, o desenvolvimento da cidade será retomado somente em 1925, havendo a substituição de extensas lavouras por propriedades menores adquiridas por novas famílias que chegavam à região. Esta nova economia, baseava-se então na criação de gado e policultura, destacando-se a fruticultura e a floricultura (IBGE - Histórico). Há ainda atividade industrial, em menor escala destacando-se o polo industrial Eduardo I. Abduch inaugurado em 1996 (32 mil m<sup>2</sup>) (PIRACAIA).

Observa-se, portanto, que do ponto de vista do ordenamento territorial, a bacia do Reservatório Cachoeira está associada historicamente, às atividades agropecuárias recebendo, portanto, impactos típicos desta categoria de uso do solo.

## Usos do solo

Os três municípios de Camanducaia, Joanópolis e Piracaia possuem uma área total de 55645 ha destinados às atividades agropecuárias, sendo Joanópolis aquele com maior extensão de terras destinadas a tais usos (32730 ha). Predominam, nos três municípios, o uso do solo como pastagem destacando-se Piracaia como o município com maior proporção de áreas naturais em relação à extensão das propriedades para atividades agropecuárias (Figuras 2.5 e 2.6).

Como reflexo desta ocupação, nota-se que tanto o entorno, quanto as margens do reservatório tiveram a vegetação ripária suprimida, predominando vegetação rasteira e de baixa densidade, com gramíneas e alguns fragmentos de vegetação ciliar havendo ainda trechos com plantações de eucalipto (Figuras 7 e 8).

Segundo levantamento realizado pelo Instituto Socioambiental, este reservatório é o que apresenta maior porcentagem de usos antrópicos não urbanos (79,4%) em relação ao total de usos na bacia, quando comparado aos demais do Sistema (WHATELY; CUNHA, 2007).

Tal situação põe a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos sob ameaça, pois, atividades agropecuárias, especialmente quando realizadas com práticas inadequadas de manejo, podem acarretar uma série de impactos negativos para os corpos hídricos, dentre outros, podem ser citados a remoção da vegetação ciliar com conseqüente incremento na entrada de poluentes e sedimentos na água, bem como aumento na probabilidade de escassez hídrica durante a estiagem, além de questões relacionadas à manutenção da diversidade de organismos aquáticos e ciclagem de nutrientes no sistema (TAMBOSI *et al.* 2015); além de eutrofização provocada pela fertilização das águas por fósforo e nitrogênio (BROETTO *et al.* 2017); poluição por metais presentes em agrotóxicos e fertilizantes (OLIVEIRA-FILHO; LOPES; PAUMGARTEN, 2004; ROBERTS, 2014); bem como contaminação por agrotóxicos (BIANCHI *et al.*, 2017).

## Qualidade da água e sedimentos

Com relação à qualidade da água e dos sedimentos, em estudo recente, o reservatório Cachoeira foi classificado como oligotrófico de acordo com o índice de estado trófico de Carlson (1977), modificado por Lamparelli (2004) (POMPÊO *et al.*, 2017) sendo este o mesmo índice considerado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, CETESB. A eutrofização

antrópica relaciona-se a ambientes com elevadas taxas de entrada de fósforo nos sistemas, geralmente ocasionadas por meio de elevados níveis de poluição por fertilizantes ou entrada de matéria orgânica pelo despejo de esgoto doméstico (FRASCARELI *et al.* 2015; POMPÊO *et al.* 2015; VARGAS *et al.*, 2018).

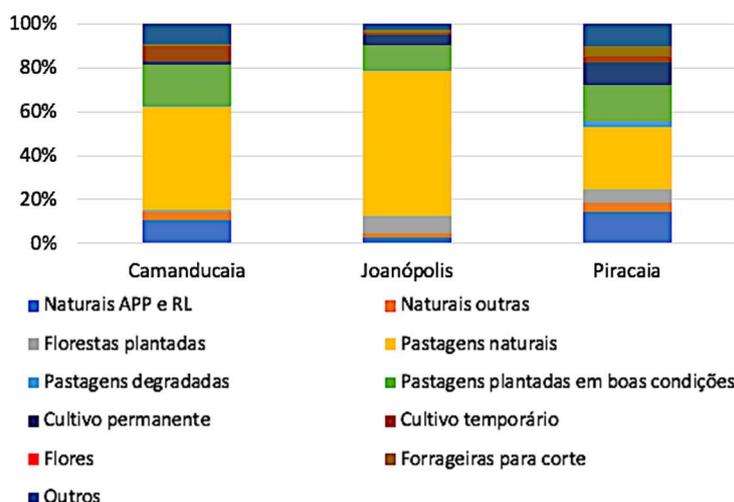


Figura 2.5 - Porcentagem dos usos do solo em relação ao total de área destinada à agropecuária. Fonte: IBGE (2006)

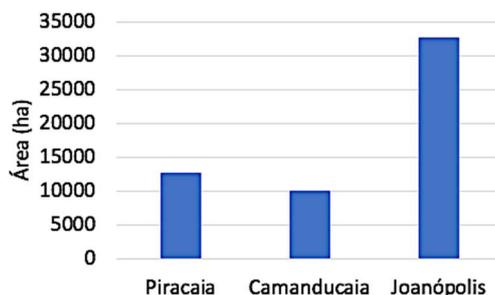


Figura 2.6 - Área total (ha) destinada às atividades agropecuárias. Fonte: IBGE (2006)

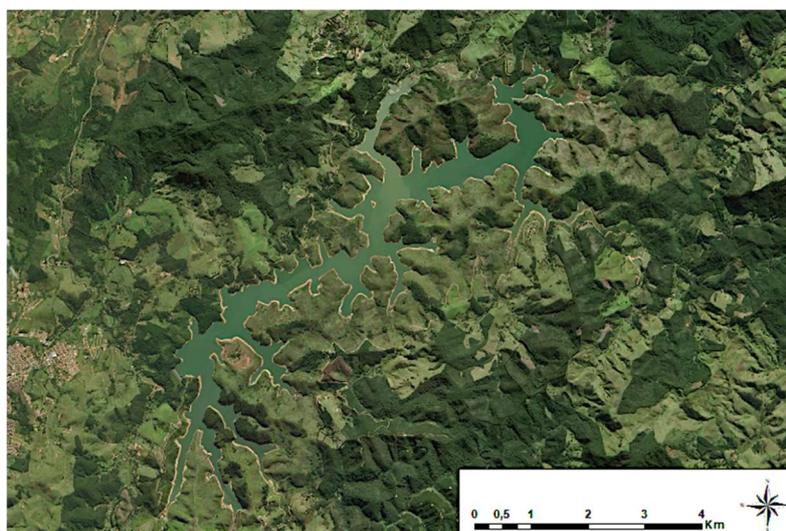


Figura 2.7 - Reservatório Cachoeira e entorno. Imagem do satélite Digital Globe 13/06/2015. Escala 1:50000



Figura 2.8 - Trabalho de campo no reservatório Cachoeira, dia 14/08/2013

Todavia, fatores relacionados ao fluxo d'água e ao ciclo hidrológico também apresentam influência sobre o estado trófico de um corpo hídrico. Em geral, ambientes com fluxo mais intenso tendem a acumular menos nutrientes e menor biomassa fitoplanctônica enquanto ambientes com fluxo reduzido são favoráveis a maior trofia devido ao acúmulo de nutrientes (POMPÊO *et al.*, 2015). Com relação ao ciclo hidrológico, a ocorrência de chuvas pode atuar favorecendo a entrada de fósforo e nitrogênio no sistema pelo carreamento de nutrientes do entorno como também pode atuar com fator de diluição (VARGAS *et al.* 2018). Esta ação será determinada por elementos como presença da vegetação no entorno, usos do solo (QUEIROZ; SILVA; PAIVA., 2017), técnicas de manejo aplicadas na agricultura (LIU *et al.*, 2017) e topografia (LIU; ZHANG; LIU, 2010).

A CETESB (2018) realiza o monitoramento de variáveis físicas, químicas, biológicas e ecotoxicológicas das águas e sedimentos em dois pontos do reservatório Cachoeira, com frequência bimestral. Em um destes pontos, são feitas análises para determinação da qualidade da água para fins de balneabilidade (latitude 23°03'22", longitude 46°19'08" na praia da Tulipa, município de Piracaia) e outro para análise da qualidade da água para demais fins, a 3,5 m da barragem (23°02'01"; 46°17'24").

Considerando-se o período de 2011 a 2017 observa-se que para fins de balneabilidade, o reservatório manteve-se próprio para atividades de recreação de contato primário tendo sido classificado como de qualidade ótima durante os sete anos (CETESB, 2018).

A CETESB também considera outros quatro índices para monitoramento da qualidade da água: o índice de qualidade das águas (IQA); o índice de qualidade das águas brutas para fins de abastecimento público (IAP); o índice de estado trófico (IET) e o índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática (IVA).

O IQA é composto por nove variáveis (coliformes fecais, pH, DBO, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, resíduo total e oxigênio dissolvido); o IAP que considera o IQA e um segundo índice (ISTO) para análise da toxicidade da água. Assim sendo, o IAP, além das nove variáveis do IQA, também considera as variáveis: potencial de formação de trihalometanos, número de células de cianobactérias, e as concentrações de cádmio, chumbo, cromo total, mercúrio e níquel como indicadores da presença de substâncias tóxicas, mais um conjunto de cinco variáveis que afetam a qualidade organoléptica da água (Al, Cu, Fe, Mn e Zn).

O IET é utilizado como medida do grau de trofia do reservatório. É composto pelas concentrações de fósforo total e clorofila-a, sendo que a CETESB utiliza o índice conforme proposto por LAMPARELLI (2004). Dentre possíveis consequências do aumento da eutrofização, destacam-se as reduções dos níveis de oxigênio com consequente morte de organismos

aeróbicos como os peixes e o favorecimento da proliferação de cianobactérias, organismos potenciais produtores de toxinas (BARRETO *et al.*, 2013).

Por fim, calcula-se o IVA. Este também é um índice composto que considera o estado trófico, a concentração de químicos tóxicos (Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn e surfactantes), além do pH e oxigênio dissolvido.

Segundo CETESB (2018), para o período de 2014 a 2017, foram registradas condições predominantemente boas ou ótimas para IAP e IQA, no reservatório Cachoeira, porém, condições regulares e de mesotrofia para IVA e IET. Estes conjuntos de indicadores sugerem uma situação de boa qualidade da água, mas com necessidade de medidas cautelares para se evitar a eutrofização e acúmulo de substâncias tóxicas no corpo hídrico (Tabela 2.2, Figura 2.9).

Tabela 2.2 - Classificação dos índices para monitoramento de qualidade da água segundo CETESB (2018)

Índices	2014	2015	2016	2017
IAP	Bom	Bom	Regular	Bom
IQA	Bom	Ótimo	Ótimo	Ótimo
IVA	Regular	Regular	Regular	Regular
IET	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico	Mesotrófico

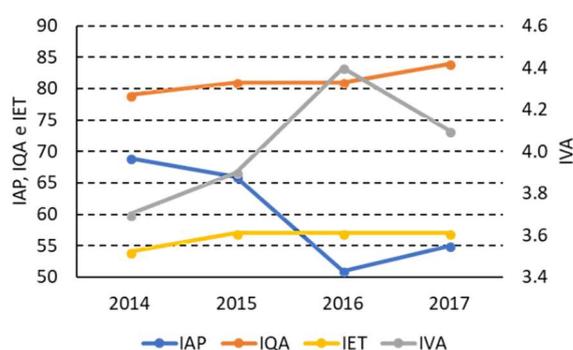


Figura 2.9 - Índices de qualidade da água conforme CETESB (2018)

Em estudo recente, Beghelli (2016) analisou as concentrações de metais no reservatório Cachoeira. Este estudo indicou concentrações dos metais As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn dentro dos padrões de qualidade conforme determinado pela resolução CONAMA 357/2005 para corpos d'água classe II e mesmo em relação às recomendações, mais exigentes, feitas pela agência ambiental canadense para proteção da vida aquática (CCME). Porém, os valores registrados para Fe e Al foram considerados elevados – assim como registrado em outros reservatórios do Sistema - e com potencial risco para a biota. Tais valores podem indicar poluição principalmente por esgotos industriais. As concentrações de Fe e Al podem estar relacionadas tanto à atividade das indústrias quanto a variação natural conforme características geológicas regionais (BEGHELLI, 2016).

Não há dados disponibilizados pela CETESB para concentrações de agrotóxicos nas águas e sedimentos do reservatório Cachoeira para o ano de 2017. Todavia, o relatório referente ao ano de 2016 indicou ausência de poluição das águas por pesticidas (CETESB, 2017). A ausência de poluição por pesticidas e as concentrações relatadas para fósforo, indicam que, até o momento, as atividades agrícolas da bacia exportam apenas quantidades aceitáveis de químicos para a bacia. Todavia, não elimina outros efeitos decorrentes de desflorestamento ou beneficiamento de produtos da agropecuária.

Os sedimentos também são componentes fundamentais dos sistemas aquáticos. Tendem a acumular nutrientes e poluentes, e como importante parte dos organismos aquáticos vivem em contato direto com eles, isto implica que impactos nos sedimentos podem afetar a teia alimentar do ambiente partindo de animais e plantas do fundo para animais que vivem na coluna d'água

como os peixes (EGELER *et al.*, 2002); animais do entorno como as aves aquáticas e mesmo o ser humano via interações tróficas.

Ademais, nutrientes e poluentes acumulados nos sedimentos sempre poderão retornar à coluna d'água. Assim sendo, os sedimentos agem em parte como um verdadeiro reservatório que acumula poluentes ao longo do tempo (HU *et al.*, 2017).

Ao analisar as concentrações de metais nos sedimentos de reservatórios do Sistema Cantareira, com base em um sistema multicritérios, Beghelli (2016) procurou determinar se os diferentes sítios de amostragem se apresentavam poluídos. Este autor constatou que os sedimentos do reservatório Cachoeira estavam poluídos por Cr e Ni em pelo menos um ponto amostral e que, de forma geral, o reservatório teria características intermediárias às dos reservatórios Jaguari-Jacareí e Paiva Castro com relação às concentrações de Cr e granulometria.

Tendo em consideração o gradiente em acordo com a sequência de reservatórios e os usos do solo, o mais provável é que as principais fontes de poluição por estes elementos sejam provenientes das águas da bacia dos reservatórios Jaguari-Jacareí onde há maior nível de urbanização e industrialização, pois não se espera poluição significativa por estes elementos vinda de atividades agropecuárias. Todavia, há ainda a possibilidade de contribuição local por cromo proveniente de curtumes e de níquel a partir do descarte inadequado de pilhas e baterias.

Uma das maiores ameaças à qualidade da água do reservatório Cachoeira, certamente vem sendo o aumento no número de cianobactérias, potenciais produtoras de toxinas. A CETESB publica dados de contagem destes organismos desde o ano de 2014. Observa-se a extrapolação do limite no número de células de cianobactérias por mL para corpos d'água classe 2 conforme resolução CONAMA 357/2005 a partir do ano de 2015 durante o mês de janeiro. Do ponto de vista do número de registros de valores acima dos 50000 cel/mL recomendados pela resolução, o ano de 2016 foi o que apresentou maior número de ocorrências de não conformidade. Todavia, devido ao registro elevado durante o mês de janeiro de 2017 (354205 cel/mL), a média anual foi maior neste último ano havendo, porém, decréscimo para níveis aceitáveis nos meses de maio e novembro (CETESB 2015, 2016, 2017, 2018). Os cálculos das médias anuais exibidos na Tabela 2.3 basearam-se somente nos meses de janeiro, maio, julho e novembro para fins de padronização dos dados. As células destacadas em amarelo indicam registros acima do limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005.

Observa-se, portanto, uma tendência ao aumento da média anual. Todavia, a redução no número de ocorrências pode significar ainda um princípio de recuperação do ambiente.

Tabela 2.3 - Número de cianobactérias (cel/mL)

Período	2014	2015	2016	2017
Janeiro		19195	82495	354205
Maio	6710	6690	63588	43820
Julho	745	10620	57830	50480
Novembro	10010	53410	259905	43820
<b>Médias anuais</b>	<b>5822</b>	<b>22479</b>	<b>115955</b>	<b>123081</b>
<b>Desvio-padrão</b>	4696	6395	96544	154114

## Considerações finais

O reservatório Cachoeira apresenta condições que variam de boa a regular com relação a qualidade d'água. Todavia, é preocupante a situação do entorno do reservatório que contribui para a entrada de poluentes e sedimentos no mesmo. Esta entrada poderá afetar o equilíbrio ecológico do sistema e prejudicar a regularização do ciclo hidrológico, resultando em baixa disponibilidade de água durante períodos de estiagem. Além disso, deve-se monitorar possíveis fontes de poluição por metais e as causas do aumento das populações de cianobactérias, bem como devem ser tomadas medidas de controle para mitigação de impactos atuais e potenciais. Considerando-se as concentrações de fósforo no reservatório, acredita-se que, assim como no

caso da poluição por metais, as causas estejam à montante do reservatório. Recomenda-se a recomposição da vegetação ciliar no entorno como medida corretiva.

## REFERÊNCIAS

- BARRETO, L.V. *et al.* Eutrofização em rios brasileiros. Enciclopédia Biosfera, v. 9, n. 16, p. 2165-2179.
- BEGHELLI, F.G.S. As relações de organismos bentônicos bioindicadores com a poluição por metais e metaloides em represas do Sistema Cantareira, São Paulo. 184f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” – ITC/UNESP, Sorocaba, 2016.
- BIANCHI, E. *et al.* Monitoring the Genotoxic and Cytotoxic Potential and the Presence of Pesticides and Hydrocarbons in Water of the Sinos River Basin, Southern Brazil. Arch Environ Contam Toxicol, v. 72, p. 321-334. 2017.
- BROETTO, T. *et al.* Relationships between Agriculture, Riparian Vegetation, and Surface Water Quality in Watersheds. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v.41. <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcs20160286>. 2017.
- CANADIAN COUNCIL OF THE MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME). Water quality guidelines for the protection of the aquatic life. Canadá, s.n. Disponível em: <<http://cegg-rcqe.ccme.ca/en/index.html#void>>. Acessado em 24 jul 2018.
- CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. Limnol Ocean, v. 22, n. 2, p. 361-369.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2014, São Paulo, 2015, 371p.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2015, São Paulo, 2016, 570p.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2016, São Paulo, 2017, 287p.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2017, São Paulo, 2018, 303p.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). Dados de monitoramento do Sistema Cantareira. Disponível em: <<http://www2.sabesp.com.br/mananciais/dadoscantareira/DadosRepresa.aspx>>. Acessado em 24 jul de 2018.
- EGELER P. *et al.* *Tubifex tubifex* as a link in food chain transfer of hexachlorobenzene from contaminated sediment to fish. In: Rodriguez P., Verdonschot P.F.M. (eds) Aquatic Oligochaete Biology VIII. Developments in Hydrobiology, v. 158. Springer, Dordrecht.
- FRASCARELI, D. *et al.* Heterogeneidade espacial e temporal de variáveis limnológicas no reservatório de Itupararanga associadas com o uso do solo na Bacia do Alto Sorocaba-SP. Ver. Ambient. Água, v. 10, n. 4. Doi:10.4136/ambi-agua.1715. 2015.
- GONDIM-FILHO *et al.* Implementação e operação do modelo de alocação de água do Sistema Cantareira - São Paulo. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, PB. 2005.
- HU, X. *et al.* Study on the changes of nitrogen and phosphorus release with time from sediment in Taihu Lake after ecological dredging. In: 3rd International Conference on Advances in Energy, Environment and Chemical Engineering IOP Publishing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, v. 69, doi :10.1088/1755-1315/69/1/012058. 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo agropecuário 2006. 2006. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acessado em 24 jul de 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo demográfico 2010. 2010. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acessado em 24 jul de 2018.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Panorama: Esgotamento sanitário adequado. Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acessado em 24 jul de 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Histórico. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acessado em 24 jul de 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2017. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acessado em 24 jul de 2018.
- LAMPARELLI, M.C. 2004. Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. 238p. Tese de doutorado em Ciências.
- LIU, W.; ZHANG, Q.; LIU, G. Lake eutrophication associated with geographic location, lake morphology and climate in China. *Hydrobiologia*, v. 644, p. 289-299. 2010.
- LIU, Y. *et al.* A review on effectiveness of best management practices in improving hydrology and water quality: Needs and opportunities. *Science of the Total Environment*, v. 601–602, p. 580–593. 2017.
- OLIVEIRA FILHO, G. L. A crise da água na Região Metropolitana de São Paulo em 2014 e a ineficiente gestão dos recursos hídricos. *CES Revista*, v. 29, n. 1, p. 5-20. 2015.
- OLIVEIRA-FILHO, E.C.; LOPES, R.M.; PAUMGARTTEN, F.J.R. Comparative study on the susceptibility of freshwater species to copper-based pesticides. *Chemosphere*, v. 56, n. 4, p. 369-374. 2004.
- OLIVEIRA JUNIOR, C.J.F. *et al.* Sociobiodiversidade e agricultura familiar em Joanópolis, SP, Brasil: potencial econômico da flora local. *Hoehnea*, v.45, n. 1, p.; 40-54. 2018.
- PIRACAIA.COM.BR. Histórico de Piracaia. Disponível em: <<http://www.piracaia.com.br/hist.html>> Acessado em: 28 jul de 2018.
- POMPÊO, M. *et al.* Heterogeneidade espacial horizontal da qualidade da água no reservatório Rio Grande, Complexo Billings, São Paulo, Brasil. In: POMPÊO, M. *et al.* *Ecologia de Reservatórios e Interfaces*. p. 82-95. 2015.
- POMPÊO, M. *et al.* Nitrogen and phosphorus in cascade multi-system tropical reservoirs: water and sediment. *Limnol. Rev.*, v. 17, n. 3, p. 133-150. 2017.
- PREFEITURA DE CAMANDUCAIA. Economia. Disponível em: <<http://www.camanducaia.mg.gov.br/camanducaia/economia/>>. Acessado em 24 jul de 2018.
- PREFEITURA DE CAMANDUCAIA. Histórico. Disponível em: <<http://www.camanducaia.mg.gov.br/camanducaia/historia/>>. Acessado em 24 jul de 2018.
- PREFEITURA DE JOANÓPOLIS. Portal turístico. Disponível em: <<http://joanopolis.sp.gov.br/portal-turistico/>>. Acessado em 24 jul de 2018.
- PREFEITURA DE PIRACAIA. Conheça nossa cidade. Disponível em: <<http://www.piracaia.sp.gov.br/conheca-nossa-cidade/>>. Acessado em 24 jul de 2018.
- QUEIROZ, L.G.; SILVA, F.T.; PAIVA, T.C. Brazil de. Caracterização estacional das variáveis físicas, químicas, biológicas e ecotoxicológicas em um trecho do Rio Paraíba do Sul, SP, Brasil. *Rev. Ambient. Água.*, v.12, n.2, p.238-248.
- ROBERTS, T.L. Cadmium and Phosphorous Fertilizers: The Issues and the Science. *Procedia Engineering*, v. 83, p. 52-59, 2014.
- TAMBOSI, L.R. *et al.* Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. *Estud. av.*, v.29, n.84, p. 151-162. 2015.
- VARGAS, R.R. *et al.* Assessment of the water quality and trophic state of the Ribeirão Guaraçau Watershed, Guarulhos (SP): a comparative analysis between rural and urban areas. *Rev. Ambient. Água*, v. 13, n. 2. Doi:10.4136/ambi-agua.2170. 2018.
- WHATELY, M.; CUNHA, P. Cantareira 2006: um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo : Instituto Socioambiental. 2007. 68p.

# CAPÍTULO 3



# O RESERVATÓRIO DE ATIBAINHA

Daniele Frascareli<sup>1</sup>

Marcelo Pompêo<sup>2</sup>

Viviane Moschini Carlos<sup>1</sup>

André Henrique Rosa<sup>1</sup>

1 - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” - Instituto de Ciências e Tecnologia Sorocaba

2 - Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo

## Introdução

O Sistema Cantareira é um dos maiores sistemas de abastecimento público do mundo e é composto por um conjunto de seis reservatórios interligados por túneis subterrâneos, canais e bombas. Este sistema está localizado ao norte da cidade de São Paulo, bastecendo além da cidade de São Paulo uma porção da região metropolitana com 33 m<sup>3</sup>/s de água, sendo 4 m<sup>3</sup>/s a contribuição do reservatório de Atibainha. O Atibainha é o quarto reservatório a jusante do reservatório Jaguari-Jacareí (Figura 3.1). Em decorrência da crise hídrica ocorrida nos anos 2013/2014, ocorreram reduções das vazões retiradas pela Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) para atender a demanda da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Atualmente, a Sabesp está autorizada a retirar 31 m<sup>3</sup>/s, e no início do mês junho de 2019 a vazão média de fato retirada esteve na casa dos 23 m<sup>3</sup>/s (ANA, s.d.).

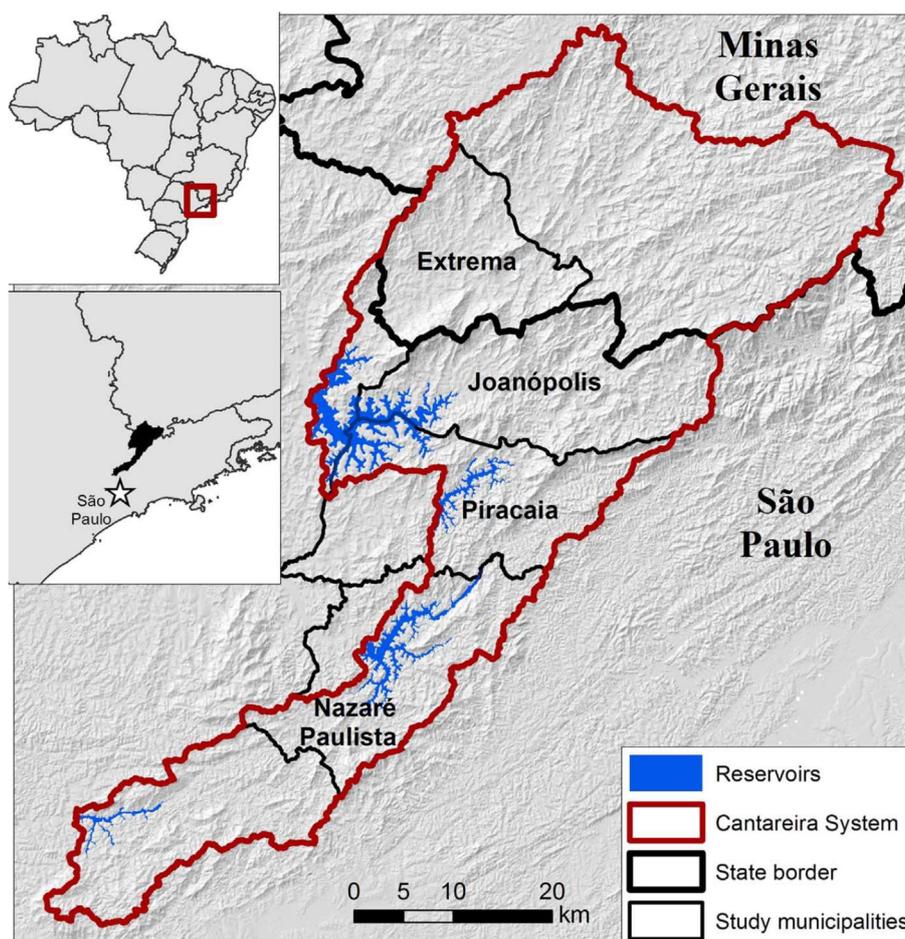


Figura 3.1 - Representação Sistema Cantareira: composição espacial horizontal  
Fonte: Richards *et al.* (2017)

O reservatório de Atibainha entrou em operação em 1975 e a área inundada está localizada no município de Nazaré Paulista, no Estado de São Paulo, nas coordenadas UTM 23K 365396 7439484 WGS 84 (Figura 3.2). A jusante do reservatório, nasce o rio Atibainha que segue seu curso natural juntando-se mais adiante com o rio Cachoeira para formar o rio Atibaia; estes estão inseridos na unidade de gerenciamento de recursos hídricos (UGRHI)-5 constituídas pelas bacias dos rios Piracicaba Capivari e Jundiá (PCJ). Suas águas também são direcionadas a bacia do Alto Tietê para contribuir no abastecimento da RMSP (WHATELY & CUNHA, 2007). A RMSP demanda da bacia PCJ aproximadamente 50% dos recursos hídricos superficiais, ou seja, a produção da própria bacia não se encontra, em sua totalidade, a disposição da própria bacia. Devido a isso, existem alguns conflitos em relação a gestão dos recursos (WHATELY & CUNHA, 2007). Além deste conflito, outro exemplo são os usos e ocupações das diferentes bacias e como

estas atividades podem alterar a qualidade de água que chega até as outras regiões e então, causar problemas na disponibilidade de água, principalmente para a cidade de São Paulo.

As principais características do reservatório Atibainha são apresentadas na Tabela 3.1.

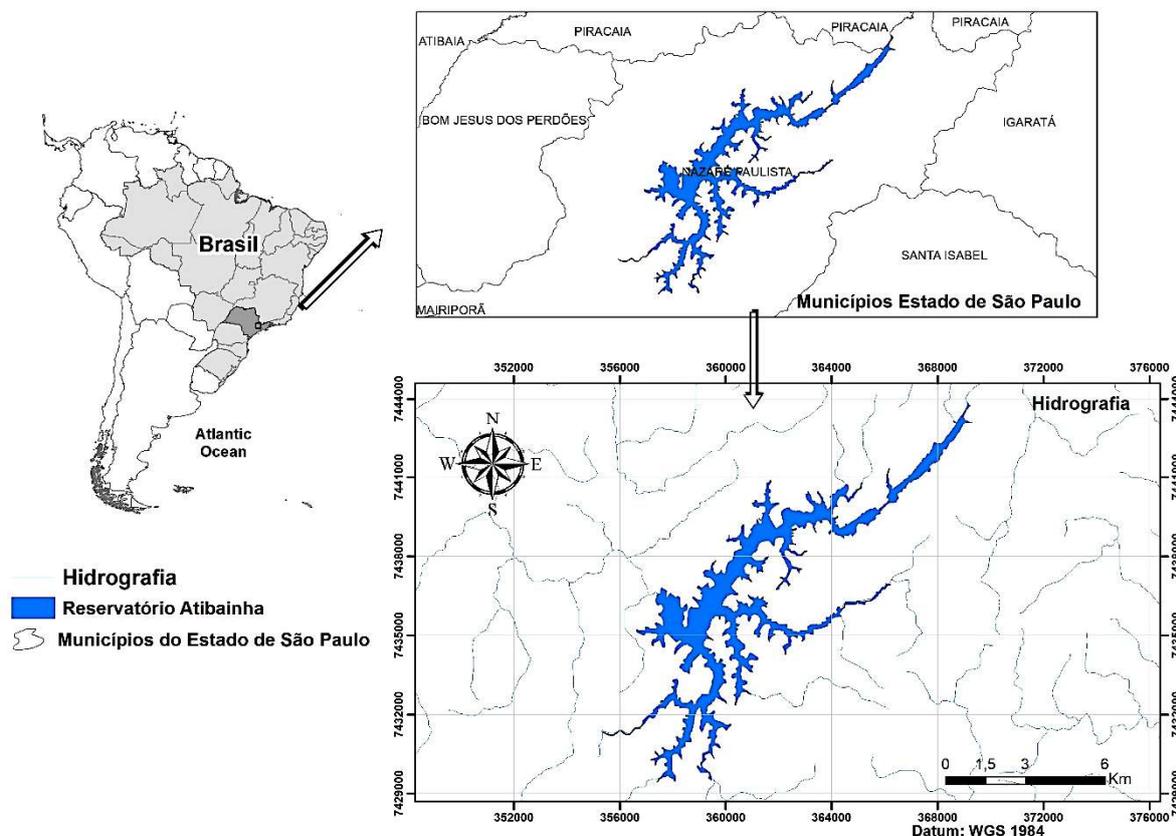


Figura 3.2 - Localização do reservatório Atibainha, estado de São Paulo- Brasil

Fonte: Autoria Própria

Tabela 3.1 - Características físicas do reservatório Atibainha

<b>Área do reservatório</b>	20.09 km <sup>2</sup>
<b>Altitude</b>	1150m
<b>Perímetro</b>	173.686m
<b>Tempo de Residência</b>	105.8
<b>Temperatura média</b>	20°C
<b>Volume</b>	9.5x10 <sup>7</sup> m <sup>3</sup>
<b>Profundidade Média</b>	4.8 m
<b>Espelho d'água</b>	2 035 ha
<b>Vazões afluentes média</b>	6mil l/s

O reservatório Atibainha tem recebido muita atenção devido aos usos que são feitos de suas águas, mas principalmente em função da dependência da cidade de São Paulo pelo abastecimento de água, sendo assim, vale a pena apresentar dados históricos a respeito das crises hídricas que por origem natural ou da própria gestão causaram danos na distribuição de água para as populações.

Antes da última crise hídrica registrada em 2014, o Sistema Cantareira já teria dado indícios de colapso segundo Whately & Cunha (2007). Estes autores relataram que no período de 1996 e 2003 os reservatórios do Sistema Cantareira marcaram dados alarmantes de 1% de armazenamento colocando em risco o abastecimento, sendo que após o período, a recuperação do sistema foi lenta e em 2007 o Sistema apresentava somente 50% de armazenamento. Afirnam

ainda os autores, que nesse período, mesmo com a situação a Sabesp optou por não implementar o racionamento de água.

Anos se passaram e novamente, desta vez no período de 2013 e 2014, o Sistema Cantareira sofreu com uma seca sem precedentes que em junho de 2014 impediu o bombeamento de água dos reservatórios para a bacia PCJ e a RMSP, com isso, foi necessária a instalação de novas bombas para retirar água do chamado volume morto (KELMAN, 2015) (Figura 3.3), já que o volume útil se encontrava esgotado e a cidade de São Paulo e outras regiões iniciaram um período de falta de água (Figura 3.4). Para se ter uma ideia, 4 anos depois deste último ocorrido, a Sabesp divulgou dados de que o volume útil armazenado do Sistema Cantareira é de 51,1% (data de acesso: 19 de fevereiro de 2018). Para o 12 de junho de 2019, o volume útil total do Sistema Cantareira estava na casa dos 57,7%, representando 566,15 hm<sup>3</sup> (ANA, 2019), portanto, mais uma vez este Sistema indicou recuperação lenta e devido a estes ocorridos, são reforçadas as necessidades de implantações de gestões mais eficientes das águas do que as implementadas atualmente, com programas de racionamento e educacionais a respeito do tema.



Figura 3.3 - Sistema de bombeamento de água no reservatório Atibainha, foto de 22/10/15, M. Pompêo

Através da compilação de dados pluviométricos monitorados e disponíveis pela Sabesp, no período compreendido entre janeiro (período chuvoso) e agosto (seco) entre os anos de 2003 a 2018 no Sistema Cantareira, é possível verificar que o período seco durante todos os anos apresentou uma média de 0,51 mm e o período chuvoso de 9,33 mm; sendo que o valor histórico para o mês de janeiro era 256,65 mm e para o mês de agosto 39,78 mm (Tabela 3.1). Logo, apesar da discussão acima sobre a recuperação lenta do Sistema Cantareira após a crise de 1996 a 2003, analisando os dados pluviométricos, a região não teve contribuição pluviométrica suficiente para o aumento do nível de armazenamento, contando apenas com a entrada dos afluentes e então, demonstrando a importância dos rios que formam o Sistema para manutenção do abastecimento e usos múltiplos. Da mesma forma, os dados do monitoramento no reservatório Atibainha indicaram baixos volumes pluviométricos e abaixo da média do período chuvoso e mais altas no seco (janeiro: 8,94 mm e agosto: 0,71 mm) em relação aos dados do Sistema Cantareira.

Devido à crise na disponibilidade de água (Figura 3.4), as agências ambientais, como Cetesb e Sabesp, sugeriram um monitoramento ambiental da qualidade da água dos reservatórios do Sistema Cantareira com uma periodicidade mensal e até mesmo diária. Nesse período, e até hoje, a Sabesp apresenta boletins diário do monitoramento dos mananciais através do site <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=553>) e a Cetesb mensais, através da

publicação anual dos relatórios de qualidade das águas interiores, pelo site <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Em relação a qualidade das águas, o relatório da Cetesb referente ao monitoramento do ano de 2015 indicou que o reservatório Atibainha apresentou um grau de trofia oligotrófico, índice de comunidade zooplantônica (ICZ), índice de qualidade de água (IQA) classificados como bom e o índice de balneabilidade (IB) para praia Utinga no reservatório foi considerado ruim. Apesar deste reservatório nunca ter apresentado um histórico de deterioração da qualidade da água (FRASCARELI *et al.*, 2018), o sistema de reservatórios interligados no qual ele se insere requer um monitoramento periódico para verificar se existe uma contribuição acumulativa dos outros reservatórios até o Paiva Castro.



Figura 3.4 - Imagens do reservatório de Atibainha no período de seca  
Fonte: Reportagem por 1) Toleto, 2015 e 2) Barrucho, 2014

Tabela 3.1- Contribuição pluviométrica histórica do Sistema Cantareira

Ano	Chuvoso	Seco
2003	0	0
2004	0	0,00
2005	2,3	0,00
2006	22,6	7,00
2007	36,9	0,00
2008	0	0,00
2009	34,2	0,10
2010	0,7	0,00
2011	0,1	0,00
2012	28	0,00
2013	0,8	0,10
2014	0	0,10
2015	0	0,20
2016	3	0,00
2017	8,4	0,10
2018	12,3	NA
<b>média</b>	9,33	0,51
<b>desvio padrão</b>	12,92	1,74
<b>coeficiente de variação</b>	1,38	3,43
<b>média histórica</b>	256,65	39,78
<b>média Atibainha</b>	8,94	0,71

NA- dados ausentes

Pompêo *et al.* (2018) analisando os reservatórios do Sistema Cantareira verificaram padrões de redução das concentrações de nutrientes na água e aumento das concentrações nos

sedimentos dos reservatórios no sentido Jaguari/Jacarei até Paiva Castro. Por serem reservatórios interligados por tuneis e afins, não é um único rio que formam todos esses reservatórios e nem mesmo uma única bacia de drenagem, sendo assim, os padrões da água verificados por esses autores foram relacionados as atividades antrópicas e entradas externas da bacia de drenagem nos reservatórios à cabeceira e a baixa influência das outras bacias dos reservatórios subsequentes. Os autores também destacaram gradientes horizontais crescentes das concentrações de alguns elementos nos sedimentos aos padrões de sedimentação dos reservatórios; sendo uma importante função dos reservatórios a autodepuração (WEI *et al.*, 2009) e muitas vezes contribui para a melhoria ambiental de locais impactados.

A qualidade ambiental do reservatório Atibainha foi objeto de vários estudos científicos nos últimos anos. Avaliação integrada dos compartimentos ambientais são fundamentais para estabelecer uma visão geral os impactos, dentre os compartimentos usados no monitoramento, destacam-se as águas superficiais, sedimentos de fundo e organismos. Mizael (2019) apresentou dados recentes sobre a taxa de sedimentação na área de barragem que foi de  $0,33 \pm 0,13$  cm/ano. A autora apresentou ainda dados paleolimnológicos de nutrientes e metais deste reservatório. Os resultados indicaram crescente taxa de sedimentação ter sido crescente desde o ano de 1967 com um carreamento das frações areia (70% da fração granulométrica total foi areia predominante). Isto indica que a modificação das margens do reservatório com atividades antrópicas está aumentando a lixiviação de materiais como areia para dentro do corpo aquático. Em relação aos metais, os resultados também são preocupantes e este reservatório foi incluído no grupo dos mais impactados a respeito do tema (Mn, Fe, Al indicaram aumento das concentrações). Os pigmentos fotossintéticos e nutrientes analisados podem dar uma ideia a respeito do histórico da eutrofização do ambiente, Mizael (2019) indicou aumento dos pigmento liteína e zeaxantina e dos nutrientes fósforo e nitrogênio desde a construção do reservatório e, a presença de betacatoteno que é um indicador valioso da abundancia total de algas (LEAVIT; HODGSON, 2001). No geral, a autora indicou que este reservatório requer atenção pelo aumento da deterioração da qualidade de água.

A respeito dos organismos, Rodrigues *et al.* (2019) indicou que Atibainha foi classificado no grupo dos reservatórios com qualidade péssima em uma avaliação integrada. Esta avaliação incluiu a avaliação da estrutura da comunidade fitoplanctônica que é afetada diretamente pelos efeitos da eutrofização e nisso, houveram a determinação da presença de cianobactérias que são organismos dominantes e algumas espécies podem ser potencialmente tóxicas.

Em relação aos usos do solo da bacia do rio Atibainha, Andrade *et al.* (2015) indicou que no ano de 2010 a bacia possuía 55,9% de floresta nativa, 29,3% vegetação rasteira, 6,9% reflorestada e 3,4 de área construída, sendo que, 4,5% de área construída; ainda que 98,5% do reservatório está inserido em uma zona rural (Figura 3.5). Também Ditt *et al.* (2008) apresentaram resultados sobre a área de entorno do reservatório com 50% de vegetação de Mata Atlântica. Como esse é o bioma brasileiro mais devastado, o reservatório Atibainha pode ser considerado um importante remanescente vegetal da Mata Atlântica.

As áreas entorno de ecossistemas aquáticos são protegidas segundo a Lei nº 12.651 de 2012 conhecida como “o novo Código florestal”. Esta Lei determina que as áreas de entorno de reservatórios são consideradas como Área de Preservação Permanentes (APP) e como tal, deveria auxiliar na redução da expansão imobiliária nesses locais e restaurar a vegetação remanescente favorecendo a recuperação florestal. Entretanto, estas áreas são extremamente visadas pelos mercados imobiliários com casas de veraneio e turismo o que dificulta as ações de preservação. As ocupações no entorno dos reservatórios são atividades que contribuem para deterioração da qualidade de água e do sedimento em reservatórios artificiais (FRASCARELI *et al.*, 2018). Demanboro *et al.* (2013) verificaram na bacia do rio Atibaia que as cabeceiras dos corpos d’água eram locais com presença de vegetação natural, mas que por serem dispersas não contribuía da mitigação do processo de degradação ambiental desta região, que foi destacada principalmente pelas ações de despejo de esgoto e consumo de água urbana, industrial e agrícola. No entanto, foi observado por esses mesmos autores que em um cenário da conservação esta bacia indicou as melhores condições para restauração ambiental. Sendo assim, a participação dos municípios seria uma alternativa para conter a ocupação nos entornos com medidas eficazes de fiscalização, planos diretores com anuência da conservação ambiental dentro dos domínios municipais.

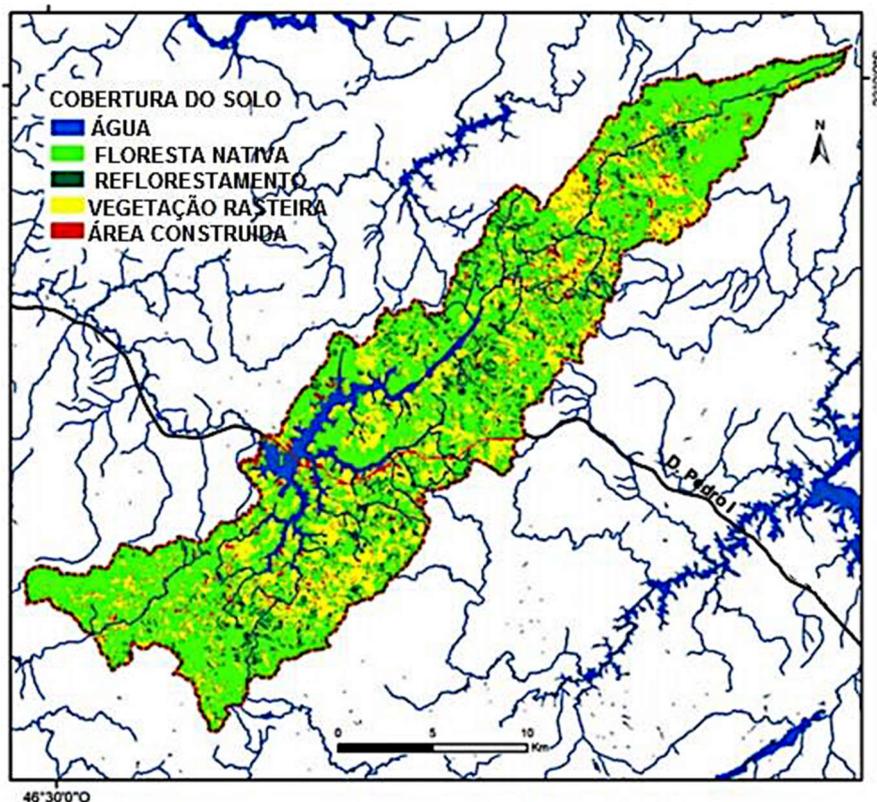


Figura 3.5 - Uso e ocupação do solo do reservatório de Atibainha-São Paulo  
Fonte: Andrade *et al.* (2015)

Em 2014 foi anunciado um projeto para transposição de 5,13 a 8,5m<sup>3</sup>/s de água do rio Jaguari para o rio Atibainha e novamente, uma disputa por água foi iniciada (Figura 3.6). O rio Jaguari compõe a bacia do Paraíba do Sul, que também abastece a população fluminense e a transposição significaria enviar água para a segurança hídrica da RMSP, mas podendo ocasionar falta de água para continuar abastecendo a demanda do Rio de Janeiro. Porém, após diversas discussões a transposição foi aprovada, mas prevê que o bombeamento seja feito nos dois sentidos, assim sendo, quando a bacia do Paraíba do Sul precisar o Sistema Cantareira poderá mandar água. Assim, o acordo foi homologado no Superior Tribunal Federal (STF) em 2015 e as obras iniciadas no ano seguinte e, finalmente em março de 2018 a obra foi inaugurada garantindo segundo a Sabesp uma maior segurança hídrica na região metropolitana de São Paulo e Campinas nos próximos anos (Figura 3.7).

Os reservatórios e rios formadores do SC devem ser eficientes na distribuição de água e de acordo com a Agência das Bacias PCJ o rio Atibainha indica uma redução do volume de água que passa pela calha devido ao uso e ocupação do entorno e a entrada de materiais particulados assim como também visualizado por Mizael (2019) dentro do reservatório. Para o fim ano de 2019 está sendo prevista uma limpeza da calha para aumentar o aumento no escoamento para enviar água com mais velocidade para a cidade de Campinas, assim como já foi realizado em 2007. A limpeza realizada em 2007 aumentou em 30% a velocidade do escoamento de água e as previsões para a limpeza deste ano de 2019 será também contribuir na retirada de galhos, vegetações e troncos em 27km de extensão do rio com um orçamento de R\$ 749.993,32 (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ).

Para manter a produção de água, a cidade de Nazaré Paulista também foi pioneira no projeto piloto “Produtor de água” que estava inserido no âmbito estadual e federal da cobrança pelo uso da água e de incentivos a conservação nas bacias localizadas em Nazaré Paulista e Joanópolis (ANA, s.d.).

Também ações de educação ambiental podem contribuir na mitigação de impactos à longo prazo. A educação ambiental promovida pelos municípios atrelados ao ecoturismo é uma forma de contato com a natureza com uma proposta conservacionista, assim, o turismo mantém os

objetivos centrais, mas preservando a harmonia com o meio ambiente. Alguns reservatórios artificiais hidrelétricos, um exemplo é a Itaipu Binacional, promove a capacitação de pessoas da comunidade local como educadores ambientais capacitando-os para o turismo e meio ambiente (PERTILLE, 2014). Nos reservatórios do Sistema Cantareira, os municípios de Mairiporã, Nazaré Paulista, Joanópolis, Piracaia, Vargem, Itapeva, Extrema e Bragança Paulista participam do projeto Semeando Água que é uma parceria entre município e ONG com o patrocínio da Petrobras. Exclusivamente para a região do reservatório Atibainha acontece o projeto Trilhas Urbanas e Interpretativas, neste projeto a proposta é aproximar a população de algumas espécies de árvores e florestas urbanas (UEZU *et al.*, 2017).

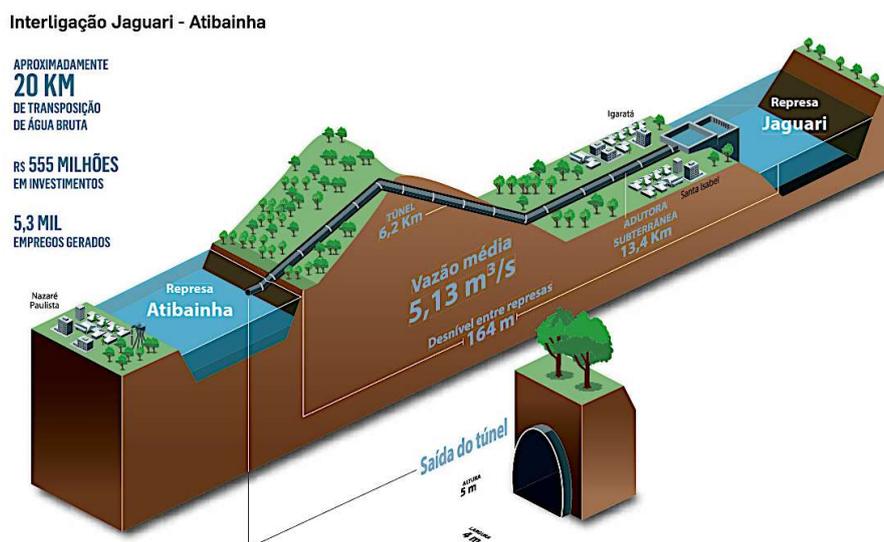


Figura 3.6 - Interligação represas Jaguari-Atibainha

Fonte: <http://patrocinados.estadao.com.br/sabesp/interligacao-jaguari-atibainha-vai-beneficiar-cerca-de-10-milhoes-de-pessoas/>



Figura 3.7 - Inauguração da interligação Jaguari-Atibainha em março de 2018

Fonte: [http://www.saneamento.sp.gov.br/noticia\\_284.html](http://www.saneamento.sp.gov.br/noticia_284.html)

O reservatório de Atibainha tem uma expressiva contribuição que vai muito além da região a qual ele se encontra inserido, logo, sua qualidade ambiental é assunto pautado por trabalhos

acadêmicos e o por órgãos de monitoramento municipais, estaduais e federais. Todo tipo de ação que resulta na conservação ambiental é válido para a situação atual mundial dos ecossistemas aquáticos. Apesar da escassez de água no conjunto de reservatórios o qual o Atibainha está inserido, este reservatório que não indicava sólida deterioração da qualidade da água, desde 2015 têm chamado atenção em relação a qualidade principalmente pela presença de cianobactérias. Assim como já foi observado em diversos trabalhos a crescente demanda por usos múltiplos podem acarretar na redução da sua qualidade, por isso, faz-se importante as atividades de monitoramento, conservação, tratamento de esgotos, etc. na bacia do reservatório de Atibainha, garantindo a manutenção da qualidade da água e serviços ecossistêmicos, para o presente, mas principalmente para o futuro.

As ações organizadas por populares têm um efeito importante na gestão dos recursos hídricos, além da população sentir diretamente as consequências da escassez de água, as pessoas também são uma boa forma de se levantar sobre o histórico ambiental de uma determinada região. Como é o caso das observações feitas pela comunidade a respeito da interligação Jaguari-Atibainha na reportagem da Rede Brasil Atual (online 2018). A transposição foi idealizada e pensada por poderes públicos e administrativos para sanar o problema na escasses e stress hídrico da região, mas de acordo com os moradores locais foi também o motivo do volume drástico do reservatório de Jaguari em agosto de 2018 (REDE BRASIL ATUAL, 2018). Novamente, a participação das comunidades nos Comitês de Bacias talvez seja uma alternativa para levar as queixas e sugestões nas tomadas de decisões públicas.

## Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, número de concessão 2016/15397-1) para bolsas de estudos para primeiro autor e apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Limpeza da calha do Atibainha melhora abastecimento de água na região de campinas**. Piracicaba, (s.d.).

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Boletim diário ANA/DAEE de monitoramento do Sistema Cantareira, situação em 12/06/2019**. São Paulo: ANA, 2019. Disponível em: [https://www.ana.gov.br/sala-de-situacao/sistema-cantareira/boletins/diario/19-06-12\\_cantareira.pdf](https://www.ana.gov.br/sala-de-situacao/sistema-cantareira/boletins/diario/19-06-12_cantareira.pdf). Acesso em: junho de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Projeto produtor de água no PCJ - Joanópolis e Nazaré Paulista/SP**. Brasília: ANA, (s.d.). Disponível em: <https://www.ana.gov.br/programas-e-projetos/programa-produtor-de-agua/pasta-projetos/produtor-de-agua-pcj>. Acesso em: outubro de 2019.

ANDRADE, M. R.; SAAD, A. R.; DALMAS, F. B.; RIBEIRO, T. F. B.; MESQUITA, R. N.; DA COSTA CASADO, F. Land use at the margins of the Atibainha Reservoir, Cantareira Water System. **Pesquisas em Geociências**, v. 42, n. 1, p. 73-88, jan./abr., 2015.

BARRUCHO, L. G. Em meio à crise hídrica, Sabesp convive com acusações e elogios. **News Brasil**, Rio de Janeiro, 24 out. 2014. Disponível em: [https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/10/141023\\_sabesp\\_lgb](https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/10/141023_sabesp_lgb). Acesso em: 06 jan. 2020.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Situação dos mananciais**. São Paulo: SABESP, 2018. Disponível em: <http://www2.sabesp.com.br/mananciais/DivulgacaoSiteSabesp.aspx>. Acesso em: 19 fev. 2018.

DAMASCENO, A. F.; SANTOS, A. C. A.; COSTA, A. F.; BHERING, B. G.; ARRUDA, E. M.; CAMARGO, F.; MYLONAS, G. F.; FRANCA, G. C.; FERNANDES, M. G.; SOUZA, S. R. Observatório do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê: um Projeto de Extensão Desenvolvido na UFSCar, Campus Sorocaba. **Rev. Cult. e Ext. USP**, São Paulo, n. 12, p.109-123, nov. 2014.

DEMANBORO, A. C.; LAURENTIS, G. L.; BETTINE, S. D. C. Cenários ambientais na bacia do rio Atibaia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 27-37, 2013.

FRASCARELI, D.; CARDOSO-SILVA, S.; MIZABEL, J. O. S. S.; POMPÊO, M.; LOPEZ-DOVAL, J.; ROSA, A. H.; MOSCHINI-CARLOS, V. (2018) Spatial distribution, bioavailability, and toxicity of metals in surface sediments of tropical reservoirs, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 4, p. 199, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10661-018-6515-8>. Disponível em: <https://europepmc.org/article/med/29520500>. Acesso em: maio de 2019.

LEAVITT, P. R.; FINDLAY, D. L. Comparison of fossil pigments with 20 years of phytoplankton data from eutrophic Lake 227, Experimental Lakes Area, Ontario. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.**, v. 51, p.2286-2299, 1994.

MIZABEL, J. D. O. S. S. **Análise do histórico de impactos antrópicos em reservatórios do estado de São Paulo com base nos estoques de metais, pigmentos e nutrientes em sedimento**. 2019. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, 2019.

PERTILLE, I. **O uso turístico dos reservatórios de hidrelétricas: estudo dos Terminais Turísticos no Lago de Itaipu, Paraná, Brasil**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Caxias do Sul, Pró-reitora de Pós-Graduação e Pesquisa, Programa de Mestrado em Turismo, Caxias do Sul, 2014.

REDE BRASIL ATUAL. **Cidade da Grande São Paulo caminha para crise de abastecimento de água**. São Paulo: RBA, 2018. Disponível em: <https://www.redebrasilatual.com.br/ambiente/2018/08/santa-isabel-caminha-para-crise-hidrica-apos-transposicao-de-reservatorios-em-sp/>. Acesso em: setembro de 2018.

RICHARDS, R. C.; KENNEDY, C. J.; LOVEJOY, T. E.; BRANCALION, P. H. Considering farmer land use decisions in efforts to ‘scale up’ payments for watershed services. **Ecosystem services**, v. 23, p. 238-247, 2017.

RODRIGUES, E. H. C.; VICENTIN, A. M.; MACHADO, L. D. S.; POMPÊO, M. L. M.; CARLOS, V. M. Phytoplankton, trophic state and ecological potential in reservoirs in the State of São Paulo, Brazil. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, n. 5, p. e2428, 2019.

TOLEDO, L. F. Carro que ‘media’ nível do Cantareira foi roubado há 20 anos. O Estado de S. Paulo, São Paulo, março de 2015. Disponível em: <https://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,carro-que-media-nivel-do-cantareira-foi-roubado-ha-20-anos,1643781>. Acesso em: 06 jan. 2020.

UEZU, A.; SARCINELLI, O.; CHIODI, R.; JENKINS, C. N.; MARTINS, C. S. (orgs.) **Atlas dos serviços ambientais do Sistema Cantareira**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Ecológicas, 2017.

WEI, G.; YANG, Z.; CUI, B.; LI, B.; CHEN, H.; BAI, J.; DONG, S. Impact of dam construction on water quality and water self-purification capacity of the Lancang River, China. **Water Resources Management**, v. 23, n. 9, p. 1763–1780, 2009. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11269-008-9351-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11269-008-9351-8>. Acesso em: junho de 2019.

WHATELY, M.; CUNHA, P. **Cantareira 2006: um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2007.

# CAPÍTULO 4



# O RESERVATÓRIO PAIVA CASTRO

Sheila Cardoso-Silva<sup>1, 2</sup>

Marcelo Pompêo<sup>3</sup>

Viviane Moschini-Carlos<sup>4</sup>

1 - Professora Visitante do Programa de Pós Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais, Universidade Federal do Acre

2 - Pós-Doutoranda do Departamento de Oceanografia Química e Geológica, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo

3 - Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo

4 - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de Sorocaba

## O Sistema Cantareira

Os cursos d'água desempenharam um papel fundamental para o desenvolvimento da cidade de São Paulo fornecendo alimentos, facilitando a circulação de mercadorias, proporcionando recreação e ao mesmo tempo encaminhando para longe o lixo e esgoto produzido pelos moradores (GOUVEIA, 2016). Entretanto, desde o século XVIII há relatos de que a qualidade das águas na cidade já estava comprometida com um declínio na disponibilidade hídrica na cidade associado às mudanças físicas processadas em função do uso e ocupação da área - sobretudo o desmatamento (GOUVEIA, 2016). Para atender a demanda de abastecimento de água da cidade houve a necessidade da busca por fontes de água distantes da capital. Assim, em 1863 foi proposta a adução das águas da região da Serra da Cantareira, reconhecida pela presença de diversos corpos hídricos com águas consideradas de boa qualidade e distantes do aglomerado urbano (SABESP, 2008).

O contínuo crescimento populacional e a urbanização exigiram que o antigo sistema de abastecimento Cantareira, recebesse ao longo do tempo contribuições de outros corpos hídricos para que o abastecimento fosse mantido (SABESP, 2008). Além do Sistema Cantareira outros mananciais foram construídos e aproveitados para suprir a crescente demanda de água da população de São Paulo, como o Sistema Cotia e o reservatório Guarapiranga. O antigo Sistema Cantareira manteve funcionamento até a década de 1970 quando foi estabelecido o atual Sistema Cantareira.

O atual Sistema Cantareira para abastecimento público entrou em operação em maio de 1973. Atualmente é o maior produtor de água para abastecimento da região metropolitana de São Paulo, com a capacidade de produzir  $33 \text{ mil L/s}^{-1}$ , para o abastecimento de cerca de 9,4 milhões de pessoas, população que por si só seria suficiente para constituir a terceira maior população urbana do país (PORTO *et al.*, 2014). É composto pelos reservatórios Jaguari, Jacareí, Atibainha, Cachoeirinha e Engenheiro Paulo de Paiva Castro (Figura 4.1), os quais estão localizados em distintas bacias hidrográficas e formados por distintos rios. Os reservatórios são interligados por túneis artificiais subterrâneos, canais e bombas (WHATELY; CUNHA, 2007), com uma extensão aproximada de 48 km (SABESP, 2019).

O Cantareira foi desenvolvido em duas etapas principais, na primeira delas foram construídos os reservatórios: Paiva Castro, Atibainha e Cachoeira, que entraram em operação em 1974 contribuindo com uma vazão de  $11 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$ . Em 1981 foi finalizada a segunda etapa, com a inclusão no sistema dos reservatórios Jaguari e Jacareí, quando a vazão passou a  $33 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$  (WHATELY; CUNHA, 2007). Para produzir esta quantidade de água, o Sistema Cantareira faz a transposição entre duas bacias hidrográficas, importando água da Bacia Hidrográfica do Piracicaba para a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. O que acarreta conflitos no tocante à gestão dos recursos hídricos, uma vez que na bacia do Piracicaba/Capivari e Jundiá, há problemas nas captações de água das cidades dada a má qualidade dos recursos hídricos na região.



Apesar de sua importância como manancial da região metropolitana de São Paulo, o Sistema Cantareira passa por intenso crescimento populacional ao longo de suas bacias formadoras (WHATELY; CUNHA, 2007), com impactos significativos causados por atividades antrópicas associadas à agricultura (38,70%) e à silvicultura (42,70%) (VIEIRA & VIEIRA, 2016). Em 2003, os usos antrópicos correspondiam a uma área de 69,4% das bacias hidrográficas (WHATELY; CUNHA, 2007); em 2016, essa área aumentou para 81,80% (VIEIRA & VIEIRA, 2016). Em todas as bacias hidrográficas que formam o sistema, mais da metade da área foi alterada por atividades humanas.

A despeito dos registros de expansão urbana no Sistema Cantareira a situação ainda não atingiu as mesmas proporções de urbanização observada nos mananciais Billings e Guarapiranga. Nestes mananciais de acordo com dados do IBGE de 2000 a população residente era de 453 mil pessoas no reservatório Guarapiranga e de 518 mil pessoas. Deste total 97 mil eram moradores de favelas na Guarapiranga e 107 mil na Billings representando 17,6% do total da população de favelas em São Paulo (SANTORO *et al.*, 2008). Este tipo de ocupação está diretamente associada ao lançamento de esgotos sanitários sem tratamento na bacia hidrográfica e traz como consequência o aumento: dos custos para tratamento da água, do número de casos de doenças de veiculação hídrica, do aporte de nutrientes e de contaminantes como metais, xenobióticos, compostos orgânicos resistentes e traços de produtos farmacêuticos (OTOMO *et al.*, 2015).

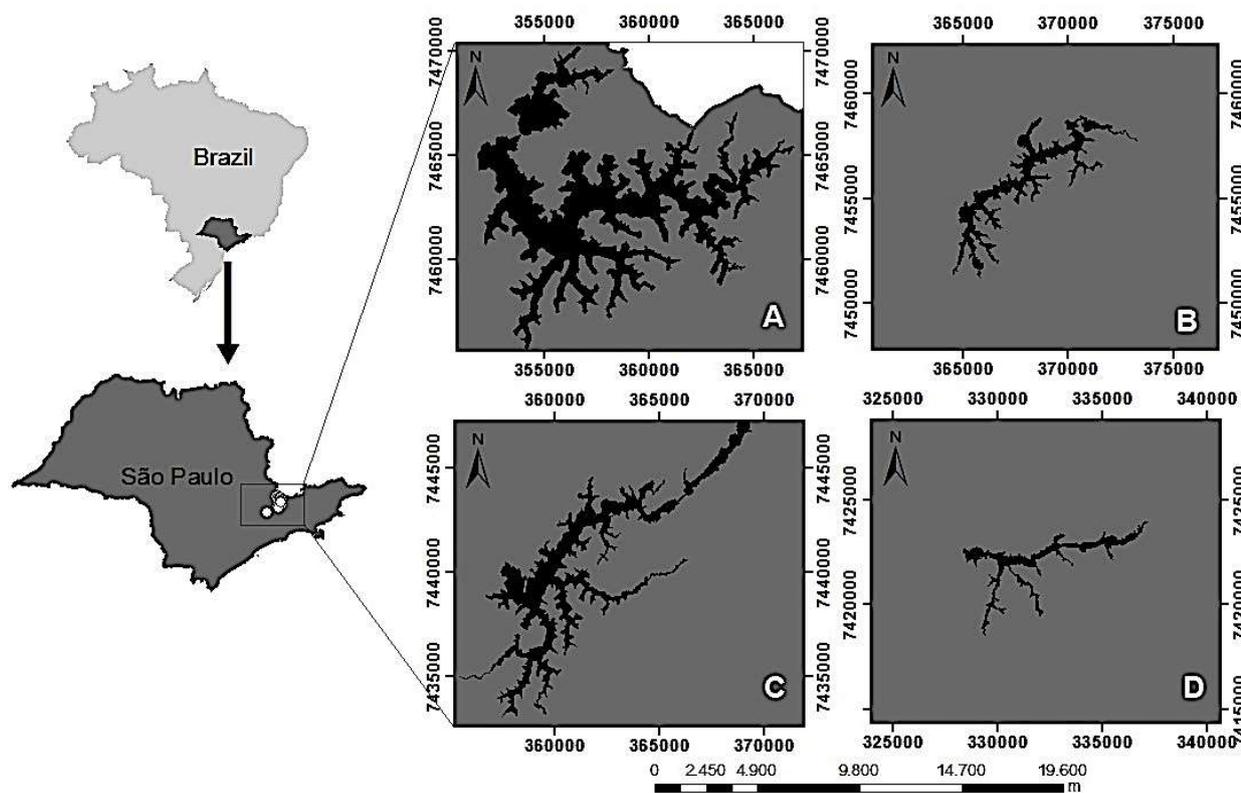


Figura 4.1 - Localização espacial do Sistema Cantareira no estado de São Paulo-Brasil. A) reservatórios Jaguarí (JG) e Jacareí (JC); B) reservatório Cachoeira; C) reservatório Atibainha; D) reservatório Paiva Castro (Modificado de Cardoso-Silva *et al.*, 2017)

Embora a região ainda não apresente o mesmo quadro de degradação ambiental verificado nas bacias do Guarapiranga e do complexo Billings, mantido o processo atual de ocupação e usos do entorno (WHATELY; CUNHA, 2007), a tendência é que isto ocorra. É preciso que, entre outras medidas, a urbanização seja controlada e que haja investimentos na coleta e tratamento de esgoto já que apenas 67,4% dos domicílios na região de Mairiporã, onde o

reservatório Paiva Castro está inserido, apresenta esgotamento sanitário adequado (IBGE, 2010). É necessário que a sociedade civil e o poder público estejam engajados na proteção e recuperação destes ecossistemas para que não sejam comprometidos o abastecimento público e a 'qualidade ecológica' deste importante manancial.



### **O reservatório Paiva Castro: localização e aspectos físicos**

O reservatório Paiva Castro é o último do sistema de derivações Cantareira, a partir dele as águas são bombeadas pela Elevatória Santa Inês ao reservatório das Águas Claras, que garante reservas para uma autonomia do Cantareira de aproximadamente 3 horas em caso de paralisação da estação elevatória, e em seguida à estação de tratamento de água do Guaraú e então ao abastecimento público (Figura 4.1). O reservatório Paiva Castro está localizado na sub-bacia do Juquery, a qual possui área de 33.771 ha e integra a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. A sub-bacia do reservatório Paiva Castro, conta com urbanização bastante intensa, e é a única que está parcialmente inserida nos limites da Área de Proteção aos Mananciais (28.372 ha, ou 84% de

sua área) (SABESP, 2019). Esta sub bacia compreende parcialmente os municípios de Caieiras, Franco da Rocha, Mairiporã e Nazaré Paulista.

Formado pelo barramento do Rio Juquery no município de Franco da Rocha, a montante o reservatório Paiva Castro recebe os efluentes da estação de tratamento de esgotos do município de Mairiporã. Está localizado numa altitude de 745 m, possui área de drenagem de 314 km<sup>2</sup> e vazão média de 4,4 m<sup>3</sup>/s<sup>-1</sup> (SABESP, 2019). O clima na região é tropical de altitude, as temperaturas oscilam entre 18 °C e 22 °C (AB'SABER, 1978) e a precipitação média anual é estimada em 1500 mm. Na Figura 4.2 estão representadas as médias históricas para a região de acordo com dados da SABESP (2018).

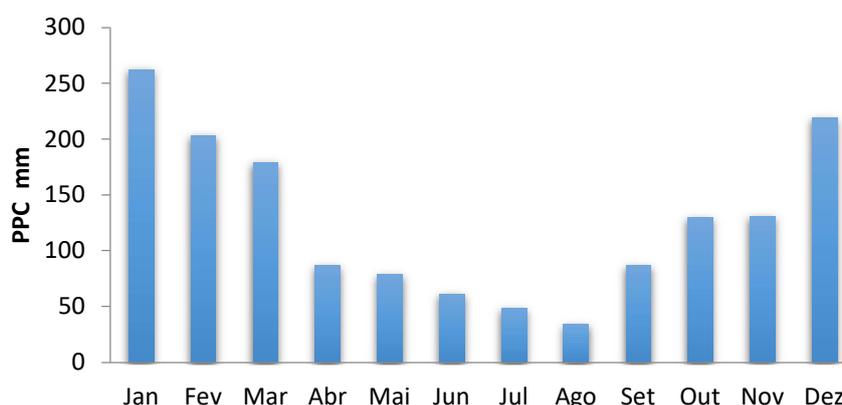
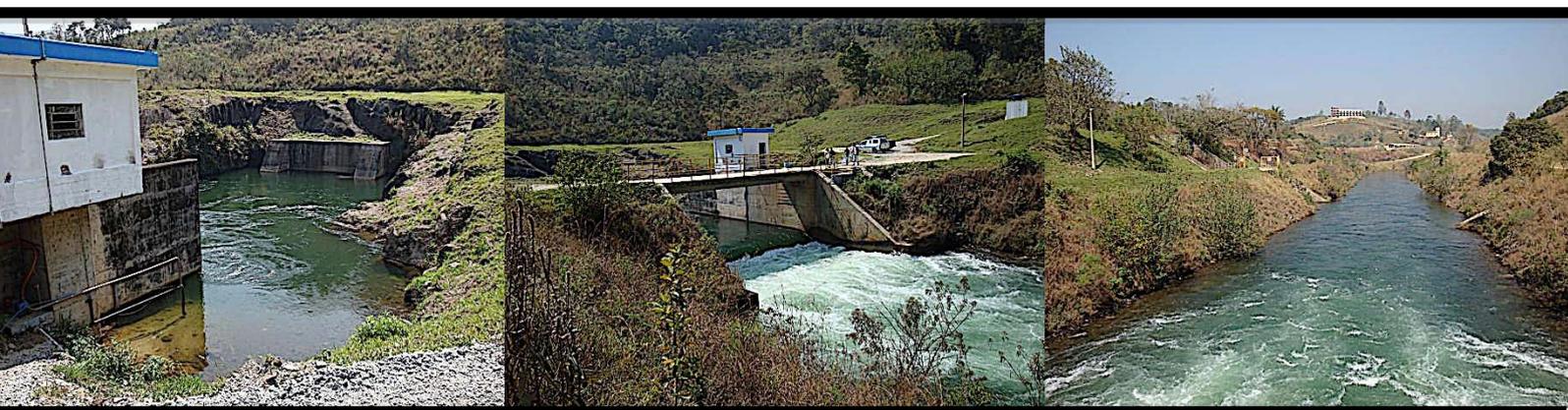


Figura 4.2 - Médias mensais para precipitação (PPC) na região do Sistema Cantareira

De acordo com Ab'Saber (1978), a região apresenta o primeiro setor de relevo mais acidentado e de maior amplitude topográfica existente ao norte de região de São Paulo (750 / 1100 m de altitude), formada por terrenos cristalinos decompostos do Planalto Atlântico Paulista, no domínio dos mares de morro. Em relação à vegetação, a cobertura vegetal revela diferenças sensíveis de biomassa, as matas não muito densas são encontradas nas encostas dos morros de filitos e ilhas de cerrados pelos interflúvios dos morros baixos e colinas, somente quando o solo é composto pela decomposição de granitos é que as matas se adensam (AB'SABER, 1978).



### Qualidade das águas e sedimentos do reservatório Paiva Castro

Embora o reservatório Paiva Castro seja amplamente monitorado pela SABESP, empresa que detém a concessão dos serviços públicos de saneamento básico no Estado de São Paulo, nem todos os dados são publicados e a informação obtida fica restrita à empresa. A agência ambiental local, a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), apesar de disponibilizar anualmente em relatórios técnicos as informações do monitoramento da qualidade

da água que efetua no reservatório, este ocorre apenas em um ponto, localizado próximo à área da barragem. Este ponto monitorado, em tese, refletiria a qualidade da água do Sistema Cantareira enviada ao tratamento, já que o reservatório Paiva Castro é o último do sistema de derivações. Apenas após a crise hídrica entre os anos de 2014 e 2015, a CETESB passou a monitorar também os sedimentos do reservatório Paiva Castro e outros pontos ao longo dos demais reservatórios do Sistema Cantareira. Informações sobre a qualidade da água e sedimento de outras áreas do reservatório podem ser obtidas apenas em relativamente poucos trabalhos acadêmicos como as pesquisas de: Giatti, 2000; Silva, 2002; Macedo, 2011; Cardoso-Silva *et al.* 2016a e 2016b; Beghelli, 2016; Pantoja-Matta, 2016; De Carli, 2017; Martins, 2017; Pompêo *et al.*, 2017; Cardoso-Silva *et al.*, 2017; Peres-Ortega, 2018a e 2018b; Beghelli, 2018; Silva *et al.*, 2018, Santos *et al.*, 2018.

Com base nos relatórios da CETESB e em alguns dos trabalhos acadêmicos citados será apresentado a seguir um diagnóstico da qualidade das águas e sedimentos do reservatório Paiva Castro no período entre os anos 2000 e 2016. A despeito da série de dados levantada deve ser salientado, contudo, que ainda se faz necessário o desenvolvimento de mais estudos para uma melhor compreensão da estrutura e dinâmica deste importante manancial.

### O aumento da carga de nutrientes e suas consequências no reservatório Paiva Castro

Apesar de ainda ser um reservatório com boas condições ambientais (CARDOSO-SILVA, 2013), há registros de impactos antrópicos na região do reservatório Paiva Castro que podem afetar diretamente a qualidade deste importante manancial. O aumento da carga de nutrientes como nitrogênio e fósforo, por exemplo, associado principalmente aos usos e ocupação da bacia hidrográfica, já ocorria na década 90 (GIATTI, 2000; SILVA, 2002). A elevação da carga destes nutrientes acarreta no aumento do estado trófico dos corpos d'água o qual pode trazer como consequência diversos problemas como a diminuição da diversidade biológica, a maior mortalidade de peixes, a produção de maus odores, aumento nos custos para tratamento de água, a proliferação excessiva de macrófitas aquáticas e a floração de algas, em particular cianobactérias potencialmente tóxicas, entre outros (POMPÊO *et al.*, 2005; ESTEVES, 2011).

Em relação aos nutrientes e elementos associados ao processo de eutrofização, de acordo com dados da CETESB (CETESB 2000 a 2016), o reservatório apresentou desde o ano 2000 valores médios para fósforo que não estiveram em conformidade com a legislação vigente, a Resolução CONAMA nº357/2005 (Tabela 4.1). Para clorofila-a, um parâmetro indicador da biomassa algal, embora tenha havido relatos de não conformidades ao longo do período referido as médias anuais obedeceram aos valores estabelecidos para os corpos hídricos classe 1, classe na qual o reservatório foi enquadrado. Entretanto, apesar de ainda estar em conformidade com a legislação nos últimos anos os teores de clorofila-a tem apresentado aumento nos valores médios, o que merece atenção por parte do poder público, pois, este aumento pode estar associado ao aumento da degradação do reservatório. Os coliformes termotolerantes e a presença de bactérias *E. coli*, indicadores da presença de lançamento de efluentes domésticos nos corpos hídricos, estiveram em conformidade com a legislação (Tabela 4.1).

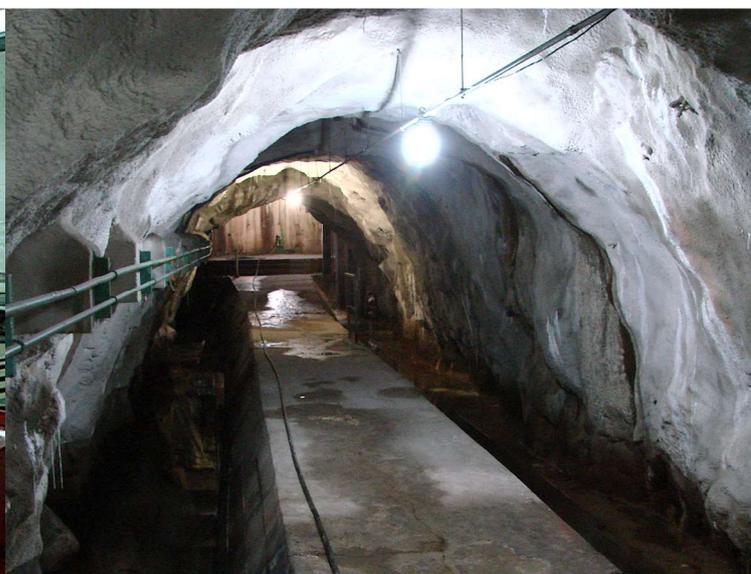


Tabela 4.1 - Médias anuais para as variáveis associadas ao processo de eutrofização e ao lançamento de efluentes domésticos em um ponto monitorado pela Cetesb no reservatório Paiva Castro

Ano	Fósforo Total	Clorofila-a	Coliformes Termotolerantes	<i>E. coli</i>
2000	0.037	1,867	140.1667	*
2001	0.052	3,173	140.5	*
2002	0.022	3,165	50.33333	*
2003	0.043	2,800	140.3333	*
2004	0.001	4,005	155.167	*
2005	0.008	2,540	32.167	*
2006	0.357	2,515	110.333	*
2007	0.066	1,675	107.667	*
2008	0.005	1,800	177.167	*
2009	0.043	7,648	196.167	*
2010	0.024	3,712	142.333	*
2011	0.023	4,225	60.500	*
2012	0.001	3,643	*	60,500
2013	0.003	2,175	*	109,000
2014	*	*	*	*
2015	0.040	6,845	*	14.333
2016	0.021	5.674	*	70.167
Conama n° 357/2005	0,02	10	200	120

\* Valores não medidos.

Valores em conformidade com:



A elevação das cargas de nutrientes, principalmente o fósforo tem sido responsável pelo registro do estado trófico mesotrófico no ponto monitorado pela CETESB. A Figura 4.3 apresenta as médias anuais para o estado trófico na área da barragem do reservatório Paiva Castro.

Informações sobre o estado trófico nas demais áreas do reservatório podem ser obtidas em trabalhos como o de Macedo (2011). Neste trabalho a autora avaliou 36 pontos distribuídos ao longo do reservatório Paiva Castro em duas amostragens, uma efetuada no período chuvoso de 2009 e outra no período seco de 2010. Macedo (2011) classificou o reservatório em três áreas distintas de acordo com o grau de trofia. A área III, localizada na região da barragem apresentou a condição oligotrófica e as demais áreas níveis de trofia mais elevados, sendo classificadas como mesotróficas (Figura 4.4).

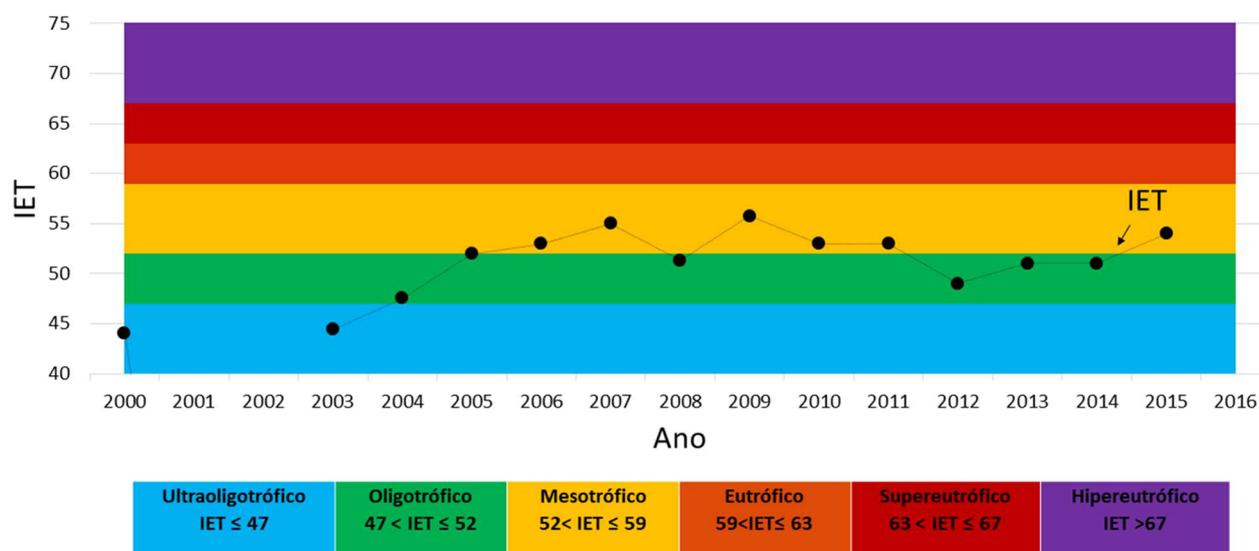


Figura 4.3 - Índice de estado trófico de Carlson (1977) adaptado para ambientes tropicais (Lamparelli, 2004) em um ponto monitorado pela CETESB localizado na área da barragem do reservatório Paiva Castro

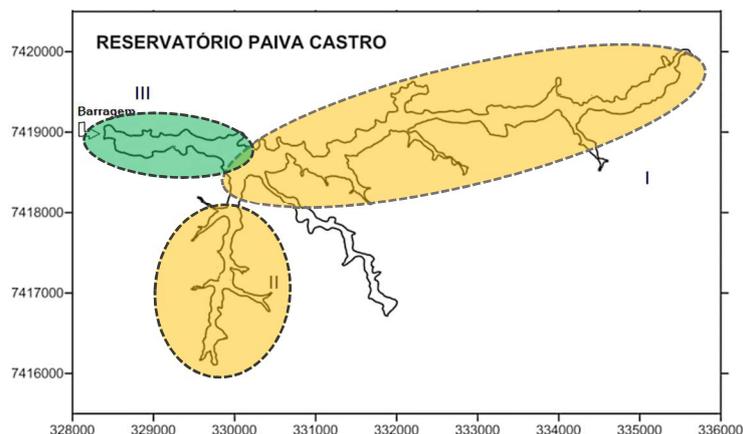
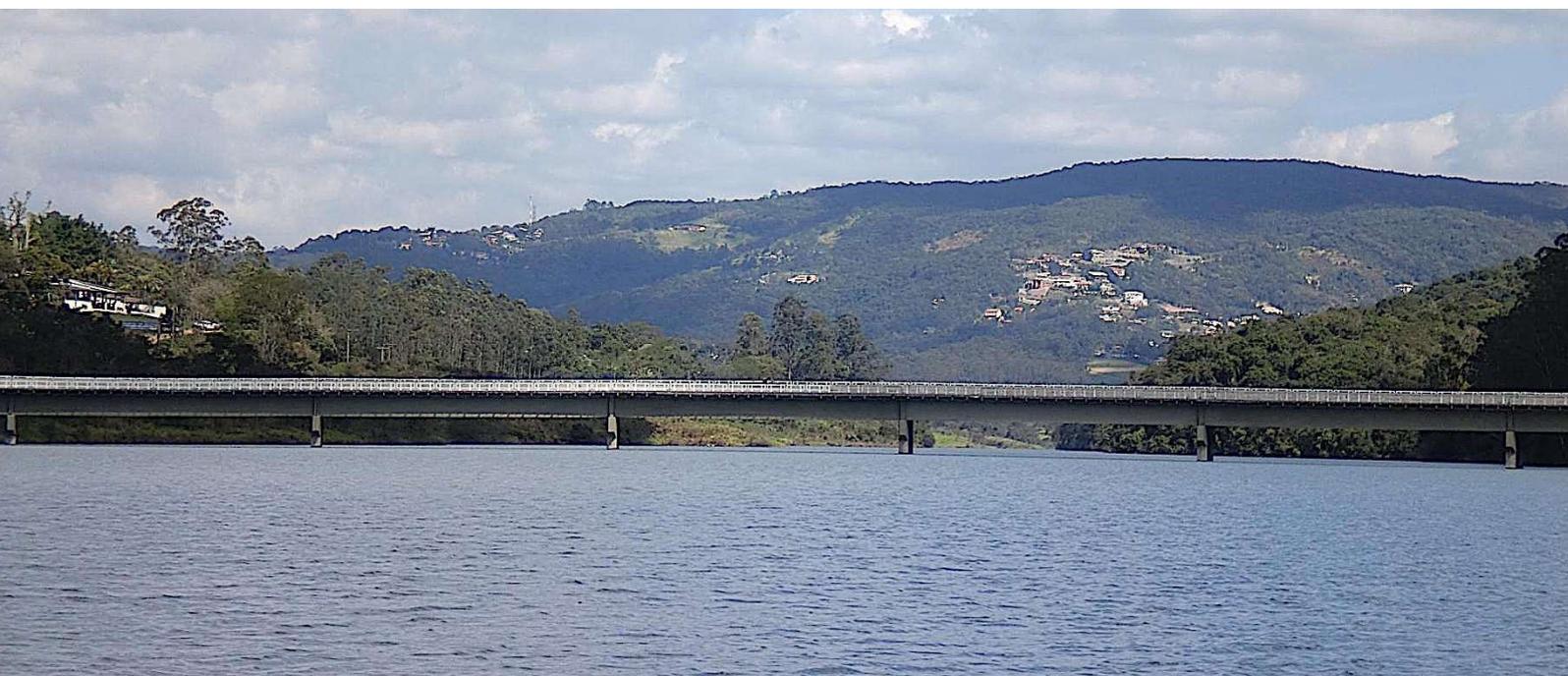


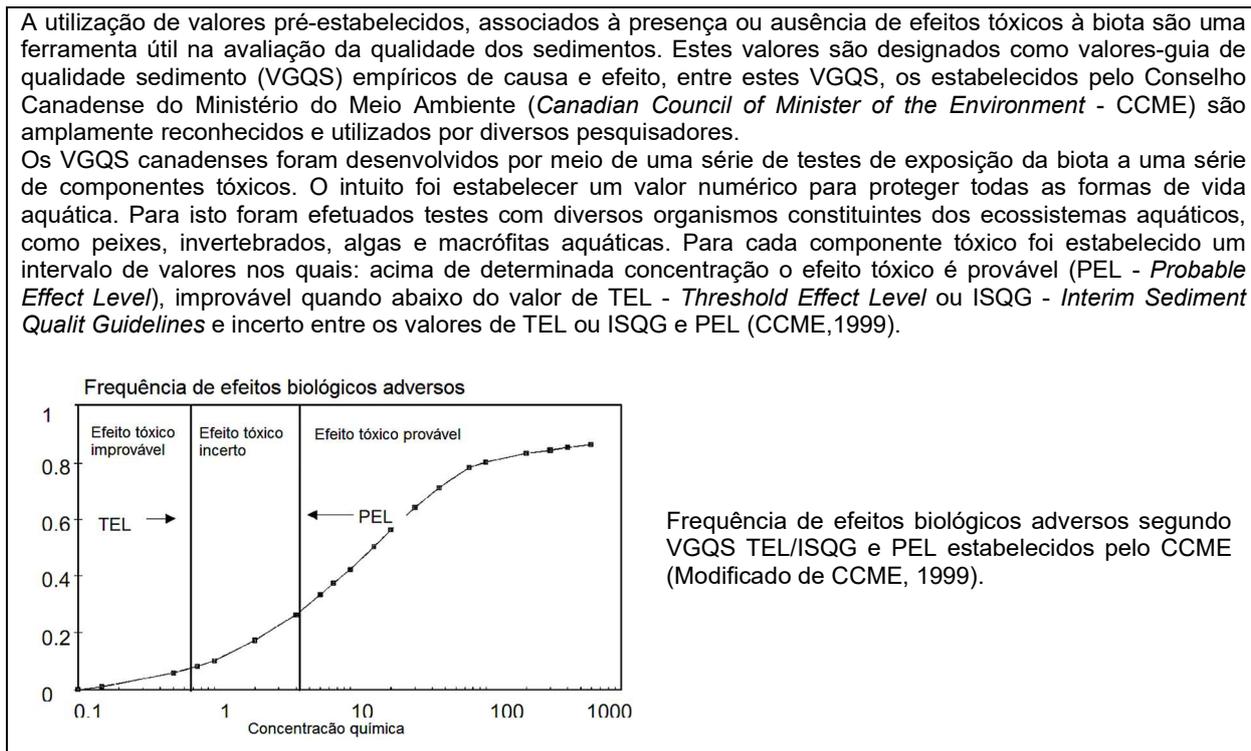
Figura 4.4 – Compartimentos do reservatório Paiva Castro, de acordo com o grau de trofia calculado com base em Lamparelli (2004). Os compartimentos I e II representam mesotrofia enquanto o compartimento III oligotrofia

Pompêo *et al.* (2017), analisando todo o Sistema Cantareira observaram uma diminuição nos níveis de nitrogênio e fósforo no sentido montante-jusante, sendo o reservatório Paiva conseqüentemente aquele com os menores graus de trofia. Pantoja-Matta (2016) em amostragem efetuada no período chuvoso de 2014 em três pontos do reservatório no ano de 2014 observou também padrão de diminuição em direção à barragem.

Apesar dos menores teores de fósforo registrados no reservatório Paiva Castro, em relação aos demais reservatórios do Sistema, aplicações de algicidas foram efetuadas na região de sua sub bacia para o controle da floração de algas. A aplicação de algicidas como o sulfato de cobre e peróxido de hidrogênio é prática comum no Brasil. Devido a tal medida os teores de cobre nos sedimentos de diversos reservatórios têm apresentado concentrações muito acima daquelas tidas como referência. No reservatório Paiva Castro há registros de valores de cobre de até três vezes o valor de referência regional (CARDOSO-SILVA *et al.*, 2016a). Baseando-se em valores guia de qualidade de sedimento como o ISQG (*Interim Sediment Quality Guidelines*) e PEL (*Probable Effect Level*), (Quadro 4.1), em alguns pontos do reservatório as concentrações de cobre sugerem efeitos tóxicos incertos sobre a biota local (CARDOSO-SILVA *et al.*, 2016b). Há também registros de bioacumulação (aumento da concentração de uma substância nos tecidos ou órgãos dos organismos) de cobre na comunidade de macroinvertebrados bentônicos (BEGHELLI, 2016).



Quadro 4.1 - Valores guia de qualidade do sedimento (ISQG e PEL)



Foram encontrados também valores para metais em sedimentos superficiais acima do valor de referência para os teores de Mn (CARDOSO-SILVA *et al.*, 2016a; CARDOSO-SILVA *et al.*, 2017), Pb e Zn (CARDOSO-SILVA *et al.*, 2017) na área fluvial do reservatório, próximo à região de Mairiporã. Os autores associaram os elevados teores de Mn ao lançamento de efluentes e a processos erosivos enquanto os teores de Pb e Zn podem estar associados também à aplicação de sulfato de cobre já que o produto utilizado não apresenta grau de pureza absoluto. Apesar dos sinais de contaminação por metais registrado isto não significa necessariamente que estes metais estejam sendo liberados na coluna de água, o que poderia causar danos diretos à biota livre nadante e ao consumo humano. Trabalhos efetuados por Cardoso-Silva *et al.* (2016b e 2017) sugerem que apesar dos sinais de contaminação os metais estão presos ao sedimento.

### Índices para avaliação da qualidade das águas e biota

Para avaliar a qualidade da água para o abastecimento público e para a biota aquática local na área da barragem a Cetesb faz uso de alguns índices. Os índices têm como proposta retratar, por meio de um número, a qualidade da água nos pontos de interesse. Exemplos de índices amplamente utilizados para o monitoramento são o IQA (Índice de Qualidade da Água) e o IPA (Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de Abastecimento Público). O IQA analisa uma série de nove variáveis (pH, Oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos totais, Clorofila-a, turbidez, nitrogênio e fósforo totais e coliformes termotolerantes) diretamente associadas ao lançamento de efluentes nos corpos hídricos, um dos principais problemas a ser enfrentado pelo Brasil como um todo (POMPÊO & MOSCHINI-CARLOS, 2012; CARDOSO-SILVA, 2013). O IAP por sua vez é o produto da ponderação dos resultados do IQA e do ISTO (Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas). O ISTO é composto por dois grupos (CETESB, 2016):

- 1) ST - Grupo de variáveis que indicam a presença de substâncias tóxicas (Potencial de Formação de Trihalometanos, Número de Células de Cianobactérias, Cádmiu, Chumbo, Cromo Total, Mercúrio e Níquel) e;
- 2) SO - Grupo de variáveis que afetam a qualidade organoléptica da água (Ferro, Manganês, Alumínio, Cobre e Zinco).

Entre os anos de 2000 e 2016, o IQA aplicado pela CETESB no reservatório Paiva Castro oscilou entre os estados excelente (8 anos) e bom (6 anos) (Figura 4.5). Para o IAP, em 14 anos de monitoramento (2003- 2016) a maior parte do tempo, este foi classificado como bom com resultado excelente em apenas dois anos (2003 e 2008) (Figura 4.5). Considerando apenas estes índices, no ponto monitorado, portanto, as águas do reservatório não têm apresentado sinais significativos de degradação e estão adequadas ao abastecimento público.

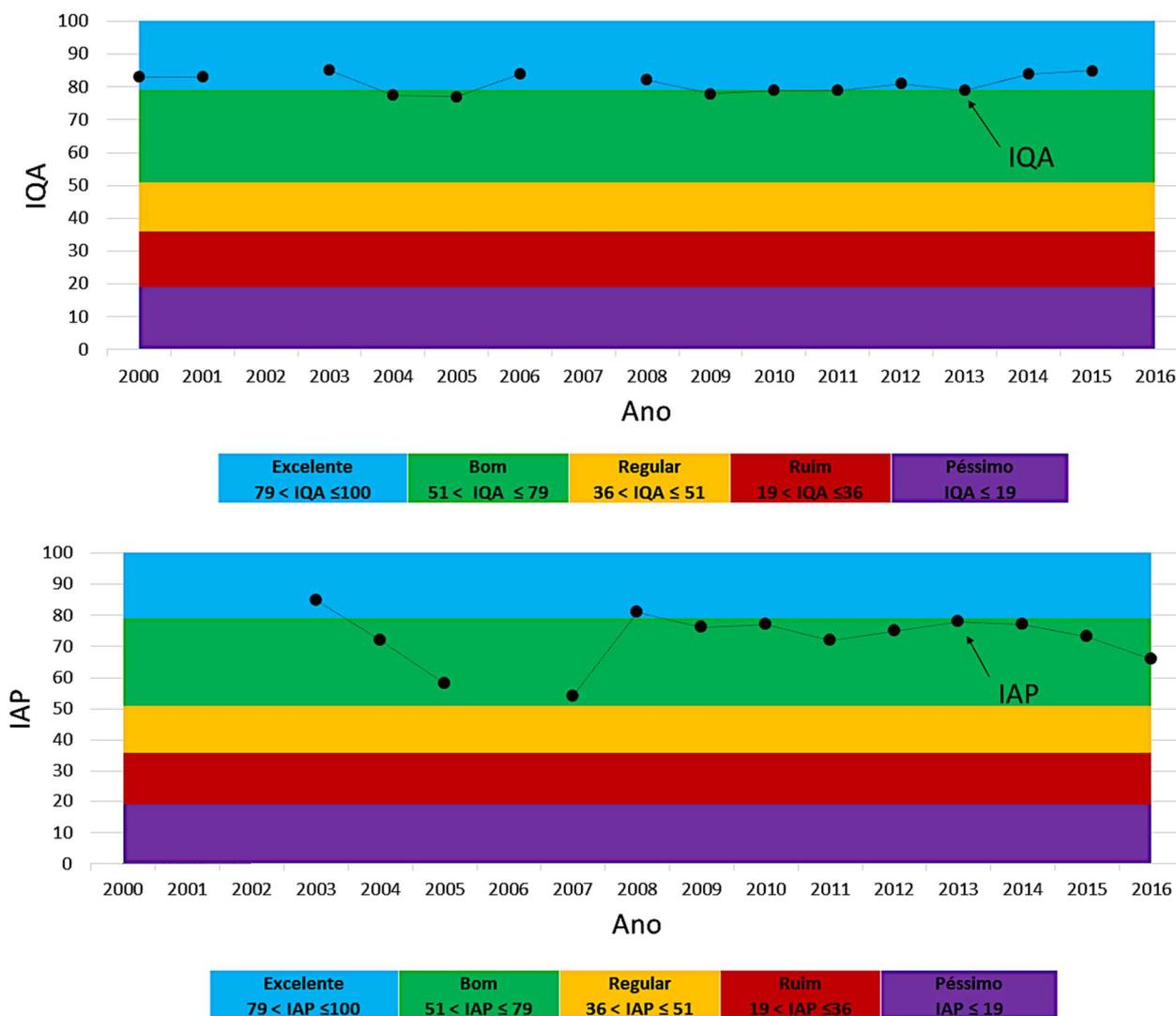


Figura 4.5 - Índice de Qualidade da água (IQA) e Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de Abastecimento Público (IAP) em ponto monitorado pela CETESB localizado na área da barragem do reservatório Paiva Castro

Para avaliar se a qualidade das águas do reservatório Paiva Castro está de acordo com a legislação vigente CONAMA n° 357/2005 aplicou-se o índice de conformidade ao enquadramento a uma série de dados disponibilizados pela CETESB na página da internet da companhia. Este índice foi desenvolvido pela agência ambiental canadense *Canadian Council of Ministers of the Environment: Water Quality Guidelines* (Conselho Canadense do Ministério do Meio Ambiente: Diretrizes para a Qualidade da Água) (CCME, 2001) com o intuito de analisar dados de qualidade das águas. O índice é aplicado pela ANA (Agência Nacional de Água) em diversos corpos hídricos ao longo do país para avaliar o cumprimento das metas de qualidade das águas dos corpos hídricos brasileiros definidas pelas classes de uso em que estão enquadrados (ANA, 2013). O índice considera a abrangência do impacto causado pela desconformidade, a frequência com que as desconformidades ocorrem e a amplitude da desconformidade, isto é, o desvio em relação ao

valor objetivo da variável de qualidade da água (CCME, 2001). Foram avaliados dados referentes ao período de 2005 a 2016, em média foram utilizados entre 24 e 27 variáveis por ano monitoradas pela Cetesb com valores máximos estabelecidos pela CONAMA n° 357/2005 para corpos hídricos classe 1. De acordo com o índice de conformidade ao enquadramento, o ponto monitorado pela CETESB ao longo do período analisado apresentou boa conformidade com a legislação sugerindo que a qualidade do ambiente é protegida, apresentando somente grau pequeno de ameaça ou impacto (Figura 4.6).

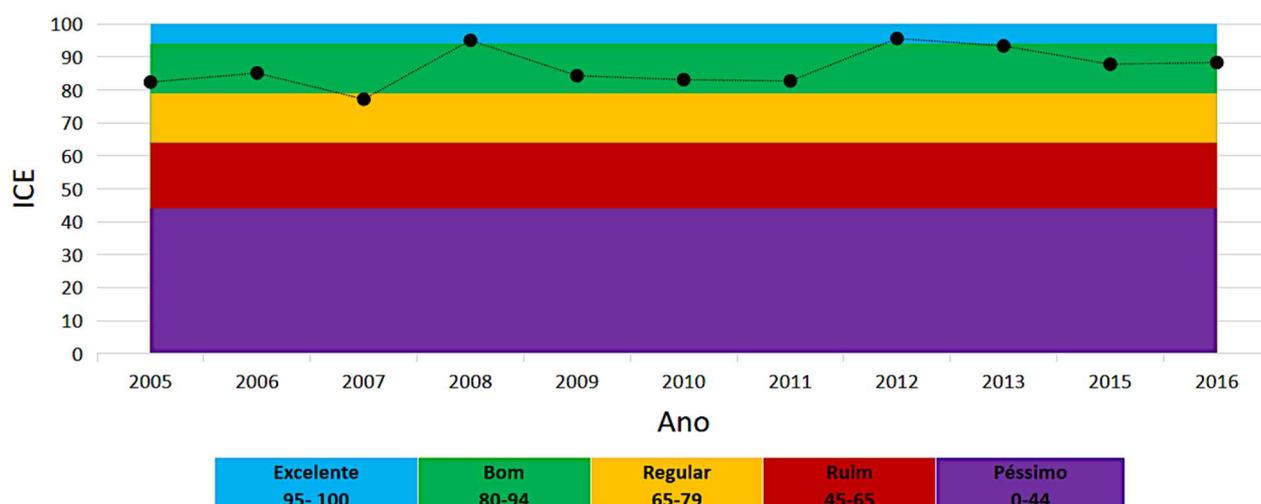


Figura 4.6 - Índice de Conformidade ao Enquadramento (IC) em ponto monitorado pela CETESB localizado na área da barragem do reservatório Paiva Castro

Outro índice aplicado pela Cetesb é o IVA (Tabela 4.2). O IVA é utilizado para avaliar a qualidade das águas para a proteção da vida aquática, incluindo no seu cálculo as variáveis

essenciais para os organismos aquáticos (Oxigênio Dissolvido, pH e Toxicidade por meio de ensaio ecotoxicológico com *Ceriodaphnia dubia*), as substâncias tóxicas e o grau de trofia (CETESB, 2016). O IVA é obtido integrando-se os resultados do IET e do IPMCA. O IET (Índice de Estado Trófico) estabelece o grau de trofia do ambiente e o IPMCA (Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática) avalia a qualidade da água em termos ecotoxicológicos sendo composto por dois grupos: ST (Grupo de Substâncias Tóxicas) e SE (Grupo de Variáveis Essenciais) (CETESB, 2016).

Fazendo a compilação de dados do IVA observa-se que a qualidade do reservatório oscila entre os estados regular e bom com apenas dois registros de estado excelente desde o início de sua implantação. O fato da frequente detecção de toxicidade crônica à *Ceriodaphnia dubia*, no ponto monitorado pela Cetesb, as quais não tem se correlacionado com as análises químicas efetuadas pela Companhia, é um dos fatores responsáveis pelas condições regulares para o IVA. Salienta-se que toxicidade crônica à *Ceriodaphnia dubia* ocorreu pelo menos uma vez ao ano nos anos de: 2000; 2002; 2003; 2005 a 2008; 2010; 2011; 2013 a 2016.

Tabela 4.2 - Média anual para o Índice de Proteção à vida Aquática (IVA), o Índice da Comunidade Fitoplanctônica (ICF) e o Índice da Comunidade Zooplanctônica (ICZ) em ponto monitorado pela CETESB localizado na área da barragem do reservatório Paiva Castro

Ano	IVA	ICF	ICZ		
2000	*	*	*		
2001	*	*	*		
2002	3,3	*	*		
2003		*	*		
2004	2,8	*	*		
2005	3,8	*	*		
2006	4,0	*	*		
2007	3,9	*	*		
2008	3,2	*	*		
2009	3,9	*	*		
2010	3,2	*	*		
2011	3,0	2			
2012	2,1	1			
2013	2,4	1	*		
2014	3,0	2			
2015	3,2	2			
2016	3,2	*			
IVA	Excelente IVA ≤ 2,5	Bom 2,6 < IVA ≤ 3,3	Regular 3,4 < IVA ≤ 4,5	Ruim 4,6 < IVA ≤ 6,7	Péssimo IVA ≥ 6,8
ICF	Ótima 1	Boa 2	Regular 3	Ruim 4	
ICZ		Boa	Regular	Ruim	Péssima

Complementando o diagnóstico ambiental dado pelo IVA a CETESB avalia também índices associados a grupos de organismos aquáticos como o Índice da Comunidade Fitoplanctônica (ICF) e o Índice da Comunidade Zooplanctônica (ICZ). Estes índices se baseiam em informações como: densidade, dominância, diversidade entre outras métricas, para a classificação dos diferentes meios. O ICF passou a ser aplicado no reservatório Paiva Castro a partir de 2008 enquanto o ICZ a partir de 2011. Neste período o ICF oscilou entre os estados bom e excelente enquanto o ICZ foi considerado regular em todas as amostragens.

Os dados levantados mostram, portanto, que apesar de apresentar conformidade com a legislação e da qualidade da água estar em padrões adequados para o abastecimento público há sinais de impactos na região que tem levado ao aumento da trofia bem como afetado as comunidades aquáticas. Atenção deve ser dada pelo poder público e pelas populações à necessidade de se proteger este importante manancial para que sua qualidade não se deteriore ainda mais ao longo do tempo.



## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. O reservatório do Juquery na área de Mairiporã: estudos básicos para a defesa ambiental e ordenação dos espaços envolventes. **Geografia e Planejamento**, v. 32, p. 1-28, 1978.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2013. 437 p.

BEGHELLI, F. G. S.; POMPÊO, M. L. M.; ROSA, A. H.; MOSCHINI-CARLOS V. Effects of copper in sediments on benthic macroinvertebrate communities in tropical reservoirs. **Limnética**, v. 35, n. 1, p.103-116, 2016.

BEGHELLI, F. G.; LOPEZ-DOVÁL, J. C.; ROSA, A. H.; POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V. Lethal and sublethal effects of metal-polluted sediments on *Chironomus sancticaroli* Strixino and Strixino, 1981. **Ecotoxicology**, v. 28, p. 12, 2018.

BRASIL. **Resolução CONAMA n° 357**, de 17 de março de 2005. Classificação das águas doces, salobras e salinas do território nacional. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2005.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. **Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life**: CCME Water Quality Index 1.0. Ontário: CCME, 2001.

CARDOSO-SILVA, S. **Metais-traço em sedimentos do reservatório Paiva Castro (Mairiporã- São Paulo)**: histórico por meio da geocronologia do <sup>210</sup>Pb, biodisponibilidade e uma proposta para a gestão dos recursos hídricos. 2013. 168 F. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, São Paulo, 2013.

CARDOSO-SILVA S.; FERREIRA P. A. L.; MOSCHINI-CARLOS V.; FIGUEIRA R. C. L.; POMPÊO, M. L. M. Temporal and spatial accumulation of heavy metals in the sediments at Paiva Castro Reservoir (São Paulo, Brazil). **Environmental Earth Sciences**, v. 75, p. 1-16, 2016a.

CARDOSO-SILVA, S.; DA SILVA, D.C.V.R.; LAGE, F.; DE PAIVA, T. C. B.; MOSCHINI-CARLOS, V.; ROSA, A. H.; POMPÊO, M. Metals in sediments: bioavailability and toxicity in a tropical reservoir used for public water supply. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, p. 310, 2016b.

CARDOSO-SILVA, S.; MEIRELLES, S. T.; FRASCARELI, D.; LOPEZ-DOVAL, J.; ROSA, A. H.; POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V. Metals in superficial sediments of a cascade multisystem reservoir: contamination and potential ecological risk. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, p. 756, 2017.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnol. Oceanogr.**, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2010**. São Paulo: CETESB, 2011. 298 p. Relatório Técnico.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2011**. São Paulo: CETESB, 2012. 342 p. Relatório Técnico.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Dossiê Cantareira**. São Paulo: SABESP, 2008. 14 p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. São Paulo: SABESP. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/Default.aspx>. Acesso em: 01out. 2019.

DE-CARLI, B. P.; LOPEZ-DOVAL, J. C.; RODRIGUES, E. H. C.; POMPÊO, M. L. M. Variação espacial e sazonal do zooplâncton nos reservatórios do Sistema Cantareira, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 14, p. 1-14, 2017.

ESTEVES, F.A. **Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 790 p.

GIATTI, L. L. **Reservatório Paiva Castro - Mairiporã- SP: avaliação da qualidade da água sobre alguns parâmetros físicos, químicos e biológicos (1987-1998)**. 2000. 178 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Faculdades de Saúde Pública, São Paulo. 2000.

GOUVEIA, I. C. M. C. A cidade de São Paulo e seus rios: uma história repleta de paradoxos. **Confins. Revista Franco Brasileira de Geografia**, v. 27, n. 27, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. Brasília: IBGE, (s.d.). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/mairipora/panorama>. Acesso em: outubro de 2019.

LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em corpos d'água de estado de São Paulo: avaliação os métodos de monitoramento**. 2004. 238 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, São Paulo, 2004.

MACEDO, C. C. L. **Heterogeneidade espacial e temporal das águas superficiais e das macrófitas aquáticas do reservatório Paiva Castro (Mairiporã-SP-Brasil)**. 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Bauru, 2011.

MARTINS, I. A. **Modelagem em SIG da fragilidade ambiental para o processo de eutrofização antrópica em reservatórios tropicais**. 2017. 134 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, São Paulo. 2017.

OTOMO, J. I.; CARDOSO-SILVA, S.; SANTOS, W. D. S.; MARTINS, E. A.; POMPÊO, M. L. M. Avaliação de Políticas para preservação e recuperação de mananciais de abastecimento público da Região Metropolitana de São Paulo. In: POMPÊO, M. *et al.* (ed). **Ecologia de reservatórios e Interfaces**. São Paulo: USP. 2015. p. 376-395.

PANTOJA-MATTA, A. L. **Dinâmica do plâncton no reservatório Paiva Castro: heterogeneidade espacial e temporal (Sistema Cantareira-SP)**. 2016. 184f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, São Paulo, 2016.

PERES-ORTEGA, D. J.; SOLARTE, J. G.; DIAZ, J. J. P.; POMPÊO, M. Dinámica espacio-temporal del uso del suelo y su efecto sobre la degradación de los recursos hídricos: caso de la cuenca del Río Juquerí? Brasil. **Revista de Investigación Agraria y Ambiental**, v. 9, p. 1, 2018a.

PERES-ORTEGA, D. J.; ORTEGA, J. A. S.; MONCAYO, P. C. C.; VARGAS, I. A. D.; POMPÊO, M. Uso del suelo y su influencia en la presión y degradación de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas. **Revista de Investigación Agraria y Ambiental**, v. 9, p. 20, 2018b.

POMPÊO, M. L. M.; CARDOSO-SILVA, S.; MOSCHINI-CARLOS, V. A deterioração da qualidade das águas continentais brasileiras: o processo de eutrofização. **Saneas**, São Paulo, v. 2, p. 25-28, 2005.

POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V. O abastecimento de água e o esgotamento sanitário: propostas para minimizar os problemas no Brasil. In: ROSA, A. H.; FRACETO, L. F.; MOSCHINI-CARLOS, V. (org.). **Meio ambiente e sustentabilidade**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; LOPEZ-DOVAL, J.; CARDOSO-SILVA, S.; MARTINS, N. A.; FREIRE, R. H.; BEGHELLI, F. G. S.; LOPEZ, P.; BRANDIMARTE, A. L.; ROSA, A. H. Nitrogen and phosphorus in CASCADE multi-system tropical reservoirs: water and sediment. **Limnological Review**, v. 17, p. 133, 2017.

PORTO, R. L.; PORTO, M. F. A.; PALERMO, M. A ressurreição do volume morto do Sistema Cantareira na Quaresma. **Revista DAE**, n. 197, p. 18-25, set./dez. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.131>  
Disponível em: [http://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_197\\_n\\_1573.pdf](http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_197_n_1573.pdf). Acesso em: janeiro de 2019.

SANTORO, P. F.; FERRARA, L. N.; WHATELY, M. **Mananciais diagnóstico e políticas habitacionais**. São Paulo: ISA/PNUMA/PAVS, 2008. 132 p.

SANTOS, L. G.; MACHADO, L. S.; MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPÊO, M. Os grupos funcionais fitoplanctônicos nos reservatórios do Sistema Cantareira, São Paulo, Brasil. **Iheringia. Série Botânica**, v. 7, p. 135-145, 2018.

SILVA, D. C. V. R.; POMPÊO, M. L. M.; PAIVA, T. C. B. P.; CARDOSO-SILVA, S.; LÓPEZ-DOVAL, J. C.; ROSSO, S.; CASTRO, L. A. B. A.; KOFUJI, P. Y. M. Evaluación toxicológica y de metales (Cu, Pb, Ni, Zn y Cd) en el sedimento del reservorio Paiva Castro en Mairiporã-SP, Brasil. **Acta Toxicologica Argentina**, v. 26, n. 1, p. 1-11, 2018.

SILVA, E. A. S. **Eutrofização no Reservatório Paiva Castro do Sistema Cantareira na Região Metropolitana de São Paulo (1987-1997)**. 2002. 135 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2002.

VIEIRA, T. N. A.; VIEIRA, L. T. A. **Análise de ecologia da paisagem do Sistema Cantareira voltada à questão hídrica**. [s.l.: s.n.], 2016. Disponível em [https://www.aliancapelaagua.com.br/wp-content/uploads/2017/06/2017-greenpeace-relatorio\\_sistema\\_cantareira.pdf](https://www.aliancapelaagua.com.br/wp-content/uploads/2017/06/2017-greenpeace-relatorio_sistema_cantareira.pdf). Acesso em maio de 2019.

WHATELY, M.; CUNHA, P. M. **Cantareira 2006**: um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo; resultados do diagnóstico socioambiental participativo do Sistema Cantareira. São Paulo: Instituto Sócio Ambiental. 2007. 68 p.

# CAPÍTULO 5



# O RESERVATÓRIO GUARAPIRANGA

Philippe Riskalla Leal<sup>1</sup>

Marcelo Pompêo<sup>2</sup>

1 - Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

2- Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo



Tabela 5.1 - Parâmetros morfométricos do reservatório Guarapiranga. Extraído de Leal (2017) [6]

Nome	Leal (2017)	Nishimura (2012) [10]	Mozeto et al (2001) [11]	SABESP <sup>h</sup> (2016)	EMAE <sup>i</sup> (sem data)	Queiroz (2014) [12]	CETESB <sup>g</sup> (2002) [13]	Kleerekoper (1939) [14]
Área Total Planar (km <sup>2</sup> )	24,9 <sup>a</sup>	34 <sup>b,d</sup>	-	-	33,91 <sup>b,d</sup>	27,8 <sup>b,d</sup>	33 <sup>b,d</sup>	35 <sup>b,d</sup>
Área Superficial do Sedimento (km <sup>2</sup> )	45,3 <sup>a</sup>	-	-	-		-	-	
Perímetro (km)	93,3 <sup>a</sup>	85 <sup>b,d</sup>	-	-	-	-	-	-
Profundidade Máx (metros)	13,5 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	13 <sup>b,d</sup>
Profundidade Média (metros)	5,7 <sup>a</sup>	7 <sup>b,d</sup>	-	-	5,83 <sup>b,d</sup>	-	7 <sup>b,d</sup>	5,7 <sup>b,d</sup>
Razão Área/Perímetro	0,3 <sup>a</sup>	0,4 <sup>b,d</sup>	-	-	-	-	-	-
Volume Útil com PEPET (hm <sup>3</sup> )	129,2 <sup>a,f</sup>	-	-	-	-	-	-	-
Volume Útil para toda lâmina d'água (hm <sup>3</sup> )	131 <sup>e</sup>	-	191,6 <sup>b,d</sup>	171,19 <sup>b,d</sup>	191,61 <sup>b,d</sup>	-	194 <sup>b,d</sup>	-
Volume Maximum Maximorum com PEPET (hm <sup>3</sup> )	142,5 <sup>f</sup>	-	-	-	-	-	-	-
Volume Maximum Maximorum para toda lâmina d'água (hm <sup>3</sup> )	146,2 <sup>c</sup>	-	-	-	197,6 <sup>b,d</sup>	-	-	-

<sup>a</sup> Cota Hídrica de 735,64m (baseado na cota do dia de obtenção da imagem do Satélite ALOS – 09/03/2010)

<sup>b</sup> Nível da Água desconhecida ou não declarada pelo autor

<sup>c</sup> Volume de Armazenamento Total – Cota 737,60 (nível máximo maximorum)

<sup>d</sup> Sem descrição do tipo de área (real ou planar), da cota, ou do tipo de cálculo de volume adotado

<sup>e</sup> Volume de Armazenamento útil – cota de 736,62

<sup>f</sup> Morfometria da PEPET

<sup>g</sup> CETESB: COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

<sup>h</sup> SABESP: COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO

<sup>i</sup> EMAE: EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA



Ainda a partir da Figura 5.2, é possível observar um padrão ondulatório no sentido noroeste, principalmente na região central do reservatório, assim como no braço de conexão do afluente Embu-Guaçu à sudoeste. Esse padrão na porção central do reservatório pode ser

explicado pela forte influência dos campos de vento sobre a superfície do reservatório (lâmina d'água) <sup>[15]</sup>, causando revolvimento do sedimento, e conseqüente formação do padrão ondulatório visto na figura <sup>[16, 14, 17, 18]</sup>. No caso do padrão ondulatório à sudoeste, este pode ser explicado como o resultado da confluência das águas advindas do afluente do Embu-Guaçu (menos lânticas) com as águas do corpo central do reservatório (mais lânticas), novamente causando revolvimento do sedimento, e conseqüentemente resultando nos padrões ondulatórios observados.

Na Figura 5.3, é apresentada a curva hipsométrica do reservatório Guarapiranga gerada a partir de seus dados batimétricos. O Reservatório apresenta ao menos três pontos de quebra ao longo de sua declividade, o primeiro é logo centrado nos maiores valores de cota hídrica (próximo dos 95%), o segundo próximo dos 35%, e o último próximo à zona morta do reservatório (próximo dos 20%). Segundo Hentati et al. (2009) <sup>[19]</sup>, este padrão hipsométrico é típico de corpos d'água com baixa erosão de seu sedimento, e, portanto, ambientes suscetíveis à sedimentação e perda de potencial hídrico pela deposição de material particulado. Argumento que corrobora com as altas taxas de sedimentação do reservatório (0,36cm/ ano) <sup>[7,8]</sup>.



## Qualidade e gestão hídrica

Entre 1920 e 1950, o Reservatório foi visto como alvo de interesse por parte da alta classe social da RMSP, tal que diversos clubes, chácaras e marinas se estabeleceram em seu entorno. A partir da década de 1970, núcleos clandestinos, precários e populosos se instalaram às margens do Reservatório resultando em intensa alteração dos fluxos e processos de suas bacias de drenagem <sup>[20]</sup>. No mesmo período, iniciou-se a extração mineral de areia e caulinita em algumas de suas sub-bacias, acentuando o desmatamento, e resultando no aumento da erosão e assoreamento de seus tributários <sup>[6]</sup>. Posteriormente, próximo dos anos 80, com a expansão industrial próximo à região de Diadema, o Reservatório Guarapiranga se tornou alvo de resíduos industriais, inclusive de metais pesados <sup>[21, 22]</sup>.

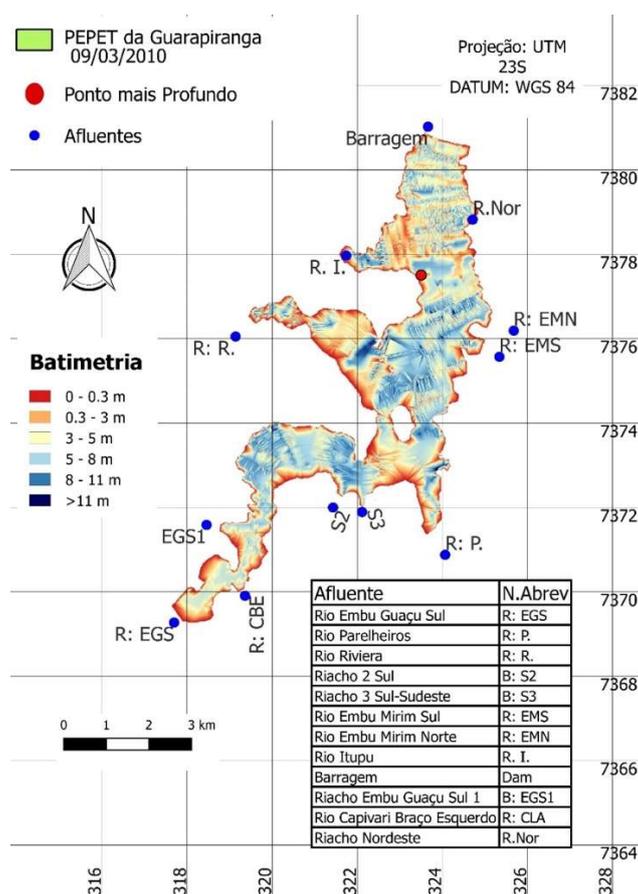


Figura 5.2 - Mapa batimétrico do Reservatório Guarapiranga por interpolação Triangulated Irregular Network (TIN). Valores de profundidade transformados em altimetria. Ponto máximo de profundidade destacado em vermelho. Afluentes destacados em azul (pontos azuis) conforme legenda da tabela da própria figura. Extraído de Leal (2017) [6]

Nos anos seguintes, com a intensa expansão urbana próxima ao Reservatório, principalmente nos municípios de Embu-Guaçu, Embu-Mirim, Interlagos, Itapeverica da Serra, São Paulo e Diadema, o reservatório se viu em progressiva deterioração de sua qualidade d'água. Efeito do aumento no aporte de esgoto não tratado (material orgânico). Como consequência, surtos de cianobactéria foram relatados no Reservatório, assim como em seu reservatório vizinho, o Reservatório Billings [23]. No intuito de controlar as proliferações algais e de cianobactérias, a COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP) iniciou em 1976 a aplicação de sulfato de cobre como agente algicida [24, 25]. Em virtude desta ação ser paliativa [26, 23], sua efetividade depende de aplicações recorrentes e ininterruptas, tal que após mais de 40 anos, esse algicida ainda continua a ser empregado no reservatório.

Como resultado de mais de quatro décadas de constante aplicação de sulfato de cobre, a concentração de cobre no sedimento vem aumentando progressivamente [6], já tendo superado os limites ambientais naturais, atingindo níveis potencialmente tóxicos [27, 28, 29, 26, 30, 31, 6]. Segundo, Guimarães (2011) [32], Leal (2017) [6] e Cardoso-Silva (2017) [33], algumas regiões do reservatório são consideradas potencialmente tóxicas para a biota local, trazendo riscos à própria população humana. Baseando-se em Valores Guia de qualidade dos Sedimentos ISQG (*Interim Sediment Quality Guidelines*) e PEL (*Probable Effect level*) estabelecidos pela agência ambiental Canadense [34], Leal (2017) [6] considerou que mais de 70% de toda a superfície do sedimento do Reservatório Guarapiranga já se encontrava ruim ou em péssima qualidade referente as concentrações de cobre no sedimento, com apenas 19% restantes ainda em estado igual ou superior a regular (Figura 5.4). Na Tabela 5.2, é apresentada a relação de classes de qualidade do sedimento utilizadas na Figura 5.4.

Segundo CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment - CCME*) [34], os valores ISQG e PEL implicam em valores pré-estabelecidos para uma série de contaminantes indicando a probabilidade de um determinado contaminante em exercer toxicidade à biota. As classes de

probabilidade de toxicidade são: improvável, incerta ou provável de ocorrer. Já os valores de referência regional (VRR) representam as concentrações basais (advindas da própria lixiviação da bacia hidrográfica) de cada elemento (contaminante) de cada ecossistema. Assim, teores de contaminantes menores ou iguais aos VRR, representam não haver contaminação no ambiente. Teores maiores que o VRR e menores que ISQG sugerem contaminação antrópica ao ecossistema, mas sem apresentar potencial toxicidade à biota (toxicidade improvável). Valores entre ISQG e PEL denotam que a toxicidade é incerta, e valores acima de PEL sugerem que a toxicidade é provável.

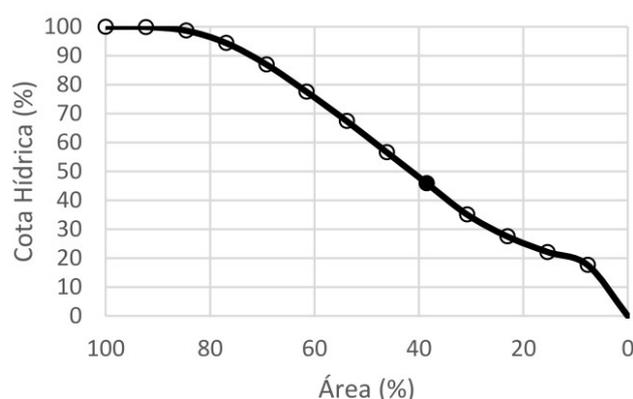


Figura 5.3 - Curva Hipsométrica do Reservatório Guarapiranga (Extraído de Leal, 2017 <sup>[6]</sup>)

Dentre as alternativas existentes para o controle de algas e cianobactérias em ambientes eutrofizados, tais como o Reservatório Guarapiranga, podem ser citados dois tipos: técnicas mecânicas e químicas. Dentre as técnicas mecânicas podem ser citados o *flushing* - um processo de abertura das comportas do reservatório para eliminar a água e parte do sedimento superficial que podem estar ricos em nutrientes; a desestratificação da coluna d'água associada à mistura do metalímnio; a aeração; etc. <sup>[36]</sup>. Dentre as técnicas químicas, além do sulfato de cobre, existem outras opções para controle de algas e cianobactérias, tais como o uso de peróxido de hidrogênio, o qual já vem sendo empregado com bons resultados <sup>[25, 37, 38]</sup> a mais de 10 anos no próprio Reservatório Guarapiranga pela SABESP. Especificamente no caso das técnicas químicas, por serem diretamente relacionadas à aplicação de algicidas, essas são consideradas técnicas paliativas, em função dessas técnicas não diminuírem o aporte de nutriente do meio. Assim, para um manejo adequado de corpos aquático, visando efetividade de longo prazo, é de suma importância que esse aporte de nutrientes seja reduzido.

O esgotamento sanitário é uma das principais técnicas de controle e redução do aporte de nutrientes de corpos aquáticos. Embora possa ser considerada custosa em curto espaço de tempo <sup>[39]</sup>, é uma técnica que apresenta resultados rápidos e de longo prazo. Ela reduz expressivamente a carga de nitrogênio e fósforo dos tributários do corpo d'água. No caso específico do Reservatório Guarapiranga, o esgotamento sanitário é ainda mais efetivo em virtude de sua alta taxa de retenção de fósforo, estimada acima de 15g/m<sup>2</sup>/ano, comparável a reservatórios como Pampulha e Paranoá <sup>[36]</sup>.

Apesar do Reservatório Guarapiranga possuir alta capacidade para retenção de fósforo, o reservatório ainda apresenta problemas de eutrofização. De acordo com o órgão ambiental local, CETESB, quem monitora o reservatório na região de Parelheiros e na área da barragem, desde 2006 foram registrados altos níveis de fósforo na região de Parelheiros excedendo o valor limite da Resolução CONAMA 357- 2005) <sup>[40,41,42]</sup>. O órgão ambiental local, classificou a área como eutrófica entre 2006 e 2010, e como supereutrófica entre 2011-2016 <sup>[40,41,42]</sup>.

Todos os resultados apresentados sugerem que as políticas públicas na bacia Guarapiranga têm sido ineficazes, e num período de onze anos, há evidências de que a qualidade da água desse reservatório está piorando ainda mais, indicando a necessidade de se verificar a ocupação não autorizada e o investimento no setor de coleta e tratamento de esgoto em áreas atualmente não atendidas.

Tabela 5.2 - Relação colorimétrica das Classes de qualidade da Figura 5.4

IES:Classes	Limites/Intervalos
Excelente	$0\mu\text{g}/\text{Kg}$ (sedimento seco) $\leq [M] \leq \text{VRR}$
Boa	$\text{VRR} \leq \text{ISQL}$
Regular	$\text{ISQL} \leq [M] \leq \text{PEL}$
Ruim	$\text{PEL} \leq [M] < 10^* \text{PEL}$
Terrível	$10^* \text{PEL} \leq [M] < + \infty$

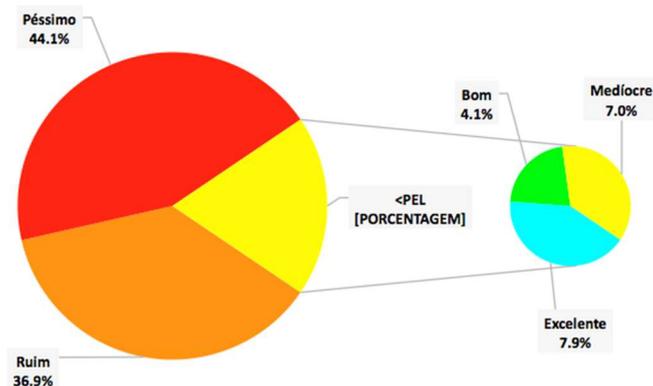


Figura 5.4 - Porcentagens da distribuição espacial da qualidade do sedimento do Reservatório Guarapiranga baseados nos valores-guias de qualidade do sedimento desenvolvido pelo Canadian Council of Minister of the Environment – CCME (Regional Reference Values -RRV; Interin Sediment Quality Guidelines - ISQG; Probable Effect level - PEL) em função da superfície real do sedimento. Os estados Regular, Bom e Excelente correspondem a valores inferiores a PEL, modificado de Leal et al. (2017) <sup>[35]</sup>



## Conclusão

O Reservatório Guarapiranga é de significativa importância para a região metropolitana de São Paulo, apresentando diferentes serviços ecossistêmicos, tais como recreação, controle de

cheia, abastecimento público, agrícola, além de servir como agente depurador do esgoto advindo de sua bacia hidrográfica. Em virtude dessa importância, é essencial novas políticas de manejo e controle, que incorporem questões como a toxicidade de seu sedimento, planos de esgotamento sanitário, controle de suas margens, a fim de garantir maior qualidade deste ambiente.

Novas abordagens técnico-científicas como a ecotoxicologia de paisagem [43, 44], a qual envolve técnicas e métricas advindas dos campos da ecotoxicologia e da geoestatística, associada ainda ao sensoriamento remoto são fortes candidatos como auxiliares nas políticas de gestão ambiental e tomadas de decisão por partes dos gestores de recursos hídricos [45, 46].



## REFERÊNCIAS

1. FUNDAÇÃO PATRIMÔNIO HISTÓRICO DA ENERGIA E SANEAMENTO; COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Espaço das águas**: dossiê institucional empresas de saneamento em São Paulo. São Paulo, 2008.
2. WHATELY, M.; CUNHA, P. M. **Guarapiranga 2005**: como e por que São Paulo está perdendo este manancial: resultados do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Guarapiranga. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2006, 43 p.
3. SOLIA, Mariângela; FARIA, Odair Marcos; ARAÚJO, Ricardo. **Mananciais da Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo: Sabesp, 2007.
4. ESPAÇO DAS ÁGUAS; FUNDAÇÃO PATRIMÔNIO HISTÓRICO DA ENERGIA; SANEAMENTO COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Dossiê**: Sistema Guarapiranga. São Paulo, 2008. 16 p.
5. SINDICATO DOS FERROVIÁRIOS DE TRENS DE PASSAGEIROS DA ZONA SOROCABANA. **São Paulo TREM Jeito**: Governador de São Paulo (SP) sancionou a lei que formaliza a Região Metropolitana. São Paulo, 2011. Disponível em: <http://saopaulotremjeito.blogspot.com.br/2011/06/governador-de-sao-paulo-sp-sancionou.html>. Acesso em: 11 abr. 2018.
6. LEAL, P. R. **Estruturação de um sistema de informações geográficas aplicado à elaboração de mapas de sensibilidade ambiental a florações massivas cianobactérias**. 2013. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas, Universidade Federal de São Paulo, Diadema, 2013.

7. CAMPAGNOLI, F. **A aplicação do assoreamento na definição de geoindicadores ambientais em áreas urbanas: exemplo na Bacia do Alto Tietê, SP.** 2002. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
8. GUIMARÃES, G. M. **Avaliação da concentração de metais e elementos traço em amostras de sedimento do Reservatório Guarapiranga, São Paulo-SP, Brasil.** 2011. 171 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
9. STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Reservoir water quality management: guidelines of lake management.** Kusatsu, International Lake Environmental Committee, 1999. v. 9, 227 p.
10. NISHIMURA, P. Y. **A comunidade fitoplanctônica nas represas Billings e Guarapiranga (Região Metropolitana de São Paulo).** 2012. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
11. MOZETO, A. A.; SILVÉRIO, P. F.; SOARES, A. Estimates of benthic fluxes of nutrients across the sediment- water interface (Guarapiranga reservoir, São Paulo, Brazil). **The Science of the Total Environment**, v. 266, p. 135-142, 2001.
12. QUEIROZ, W. **Análise geoambiental da bacia contribuinte do Reservatório Guarapiranga (SP) para avaliação da produção de sedimentos.** 2014. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Universidade de Guarulhos, Guarulhos, 2014.
13. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2001.** São Paulo: CETESB, 2002. 232 p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/institucional/publicacoes-no-diario-oficial-3/>. Acesso em: 17 nov. 2016.
14. KLEEREKOPER, H. Estudo limnológico da Represa de Santo Amaro em São Paulo. **Boletim da Faculdade de Filosofia e Ciências da Universidade de São Paulo**, v. 17, p. 1-151, 1939.
15. SPERLING, V. **Morfologia de lagos e represas.** Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1999. 138 p.
16. PEREIRA, J. P. G; BARACUHY, J. G. V. **Ecobatimetria: teoria e prática.** Campina Grande: UFCG, 2008. 84 p.
17. THORNTON, K. W. Sedimentary processes. *In*: THORNTON, K. W et al. **Reservoir limnology: ecological perspectives.** New York: John Wiley & Sons, 1990. p. 43–69.
18. ZHANG, Y et al. Lake topography and wind waves determining seasonal-spatial dynamics of total suspended matter in turbid Lake Taihu, China: Assessment using long-term high-resolution MERIS data. **PLoS ONE**, v. 9, n. 5, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0098055>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0098055>. Acesso em: 16 nov. 2016.
19. HENTATI, A.; KAWAMURA, A.; AMAGUCHI, H. 2009. Regional geomorphological characteristics of small hillside river basins in semiarid region of Tunisia. **Annual Journal of Hydraulic Engineering**, v. 53, p. 43–48, 2009.
20. BEYRUTH, Z. **Comunidade fitoplanctônica da Represa de Guarapiranga: 1991- 1992.** Aspectos ecológicos, sanitários e subsídios para reabilitação da qualidade ambiental. 1996. Tese (Doutorado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
21. WHATELY, M.; CUNHA, P.M. **Guarapiranga 2005: como e por que São Paulo está perdendo este manancial: resultados do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Guarapiranga.** São Paulo: Instituto Socioambiental, 2006a. 43 p.
22. WHATELY, M.; CUNHA, P.M. **Seminário Guarapiranga 2006: proposição de ações prioritárias para garantir água de boa qualidade para abastecimento público.** São Paulo: Instituto Socioambiental, 2006b. 171 p.
23. RODRIGUES, L. L. **Biodiversidade de cianobactérias e algas das Represas Billings (Braço Taquacetuba) e Guarapiranga, SP, Brasil.** 2008. 197 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

24. MANCUSO, P. C. S. Controle do desenvolvimento de algas em águas de abastecimento público. **Revista DAE**, v. 47, n. 149, p. 151–156, 1987.
25. CALEFFI, S. Impacto do uso de sulfato de cobre sobre o zooplâncton na represa Guarapiranga. *In*: ESPÍNDOLA, E. L. G. et al. **Ecotoxicologia**: perspectivas para o século XXI. São Carlos: RiMa, 2000.
26. POMPÊO, M. L. M. et al. Biodisponibilidade de metais no sedimento de um reservatório tropical urbano (reservatório Guarapiranga - São Paulo (SP), Brasil): há toxicidade potencial e heterogeneidade espacial? **Geochimica Brasiliensis**, v. 27, n. 2, p. 104-119, 2013.
27. GOLTERMAN, H. L.; SLY, P. G.; THOMAS, R. L. **Study of the relationship between water quality and sediment transport**. [s.l.]: Scientific and Cultural Organization, 1983. 226 p.
28. GUO, W. et al. Pollution and potential ecological risk evaluation of heavy metals in the sediments around Dongjiang Harbor, Tianjin. *Procedia Environmental Sciences*, v. 2, n. 5, p. 729–736, 2010. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.084>>. Acesso em 28 set. 2016.
29. NASCIMENTO, R. L. D. **Proposição de valores de referência para concentração de metais e metaloides em sedimentos límnicos e fluviais da Bacia Hidrográfica do Rio Tietê, SP**. 2003. 142 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.
30. NASCIMENTO, R. L. D. (org.). **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 2015.
31. SILVA, L. F. **Reconstrução paleolimnológica da eutrofização na Represa Guarapiranga com base em multitraçadores biogeoquímicos**. 2013. 224 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013b.
32. GUIMARÃES, G. M. **Avaliação da concentração de metais e elementos traço em amostras de sedimento do Reservatório Guarapiranga, São Paulo-SP, Brasil**. 2011. 171 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
33. CARDOSO, S. S. **Heterogeneidade espacial e a qualidade das águas superficiais do reservatório Guarapiranga (São Paulo- SP- Brasil)**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
34. CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. **Protocol for the derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (CCME EPC-98E)**. Hull: CCME, 1999. 35 p.
35. LEAL, P. R. et al. Impact of copper sulfate application at an urban brazilian reservoir: a geostatistical and ecotoxicological approach. **Science of the Total Environment**, v. 618, p. 621-634, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.095>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717317990?via%3Dihub>. Acesso em: 03/2018.
36. STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Diretrizes para o gerenciamento de lagos**: gerenciamento da qualidade da água de represas. São Carlos: ILEC, 2000. 280 p. Série Gerenciamento da Qualidade da Água de Represas.
37. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, referente aos anos de 2003, 2006, 2007, 2008 e 2009**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2004/2010. Série Relatórios Técnicos.
38. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Problema com algas na represa do Guarapiranga deve ser resolvido em dez dias**. São Paulo: SABESP, 2011. Disponível em: <http://www.blogsabesp.com.br/1931/problema-com-algas-na-represa-do-guarapiranga-deve-ser-resolvidoem-dez-dias>. Acesso em: 09 dez. 2011.
39. WOOD, A.; BLACKHURST, M.; HAWKINS, T.; XUE, X.; ASHBOLT, N.; GARLAND, J. Cost-effectiveness of nitrogen mitigation by alternative household wastewater management technologies. **J. Environ.Manag.**, v. 150, p. 344-354, 2015.

40. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Boletim dos mananciais**. São Paulo: SABESP, 2016. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=553>. Acesso em: 26 out. 2016.
41. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**: 2010. São Paulo: CETESB/Secretaria do Meio Ambiente, 2011. 298 p. Relatório Técnico.
42. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, referente aos anos de 2003, 2006, 2007, 2008 e 2009**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2003/2009. Série Relatórios Técnicos. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em: 10 nov. 2016.
43. FOCKS, A. The Challenge: Landscape ecotoxicology and spatially explicit risk assessment. **Environ. Toxicol. Chem.**, v. 33, n.6, p. 1193, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.2568>. Disponível em: <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/etc.2568>. Acesso em: 08/2018.
44. CAIRNS, J.; NIEDERLEHNER, B. R. Developing a field of landscape ecotoxicology. **Ecol. Appl.**, v. 6, n. 3, p. 790-796, 1996. DOI: <https://doi.org/10.2307/2269484>. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2307/2269484>. Acesso em: 05/2018.
45. NOVO, E. M. L. M. Monitoramento de quantidade e qualidade da água e sensoriamento remoto. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: ABRHidro, 2007.
46. ABDELMALIK, K.W. Role of statistical remote sensing for Inland water quality parameters prediction. **Egypt. J. Remote Sens. Sp. Sci.**, v. 21, n. 2, p. 193-200, 2018.

## Glossário

Estratificação: resultado do processo de formação de gradiente abrupto de densidade ao longo da coluna d'água, reduzindo fluxos e trocas da coluna d'água.

Desestratificação: resultado do processo inverso da estratificação. Resulta na quebra do gradiente de densidade ao longo da coluna d'água, permitindo maior troca de nutrientes e organismos ao longo da coluna d'água.

Mapa batimétrico: Mapa da profundidade de um determinado alvo (no caso, do Reservatório Guarapiranga).

Metalímnio: Parte da coluna de água onde a termoclina é mais íngreme.

PEPET - Paisagem de Estudo sob potencial efeito toxicológico: sub-região da lâmina d'água de um reservatório que maximiza as interações limnológicas e ecotoxicológicas. No caso deste trabalho, e extraído de Leal (2017)<sup>[6]</sup>, a PEPET do Reservatório Guarapiranga foi baseado nas questões ecotoxicológicas do sedimento deste ambiente. Assim, a PEPET do Reservatório Guarapiranga foi àquela subárea de sua lâmina d'água, cujo sedimento abaixo (submerso) foi pouco ou nunca exposto à atmosfera.

Termoclina: um gradiente de mudanças de temperatura, mas aplicada à zona de rápida mudança de temperatura entre as águas mais aquecidas (região chamada de epilímnio) e as águas mais frias e profundas (região chamada de hipolímnio).

Eutrofização: Processo causado pelo enriquecimento de um corpo hídrico com nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, que provocam o aumento da produtividade do ecossistema. Pode ser causado naturalmente ou por interferência humana. O rápido aumento de nutriente favorece a proliferação de algas. O excesso de algas poderá promover diversos problemas como a diminuição dos teores de oxigênio, o aumento da mortalidade de peixes e a perda da biodiversidade, entre outros.

Ecotoxicologia: ciência multidisciplinar responsável pelo estudo dos efeitos das substâncias químicas e físicas sobre diferentes níveis do ecossistema.

Ecotoxicologia de Paisagem: ciência que estuda a dispersão de compostos químico-físicos sobre vastas áreas e sua respectiva toxicidade potencial aos orgânicos, ecossistema e à sociedade.

## REFERÊNCIAS (GLOSSÁRIO)

ALLABY, M. A. **Dictionary of Ecology**. Oxford: University Press, 2010. 418 p.

ESTEVES, F. A. **Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 602 p.

# CAPÍTULO 6



# O RESERVATÓRIO BILLINGS

Jose Ricardo Baroldi Ciqueto Gargiulo

Doutorando pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Júlio de Mesquita Filho do  
Estado de São Paulo, Campus de Sorocaba  
Mestre em Pesca e Aquicultura pelo Instituto de Pesca do Estado de São Paulo  
Bacharel e Licenciado em Ciências Biológicas e Naturais pela Universidade de São Paulo

Imagem de abertura do capítulo: Proliferação de algas (incluindo cianobactérias) na região do braço Taquacetuba, reservatório Billings, próximo ao ponto de captação de água para transposição no Sistema Produtor Taquacetuba-Guarapiranga para abastecimento público. 2017. Acervo pessoal.

## O reservatório Billings

O reservatório Billings faz parte da bacia hidrográfica do Alto Tietê e é o maior reservatório de água doce do Estado de São Paulo, abrangendo seis municípios: São Bernardo do Campo, São Paulo, Diadema, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra e Santo André. No sistema de monitoramento da qualidade das águas do Estado de São Paulo compõe a 6ª. UGRH - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos, segundo CETESB (2017).

A Billings é uma represa de cabeceira, apresenta formato dendrítico complexo com corpo central alongado e estreito e oito principais braços (compartimentos) laterais, apresenta uma profundidade média de 12 metros, com área aproximada de 120 km<sup>2</sup>, volume médio de 1,20x10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>, vazão média 8,75 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e tempo de retenção hídrica (residência) aproximado de 720 dias (CETESB, 2014, 2017). Os principais compartimentos e anexos do complexo Billings são: Taquacetuba, Cocaia, Pedreira, Pedra Branca, Capivari, Rio Pequeno, Rio Grande (reservatório isolado por barragem) e Alvarenga, além do reservatório anexo Rio das Pedras (Figura 6.1).

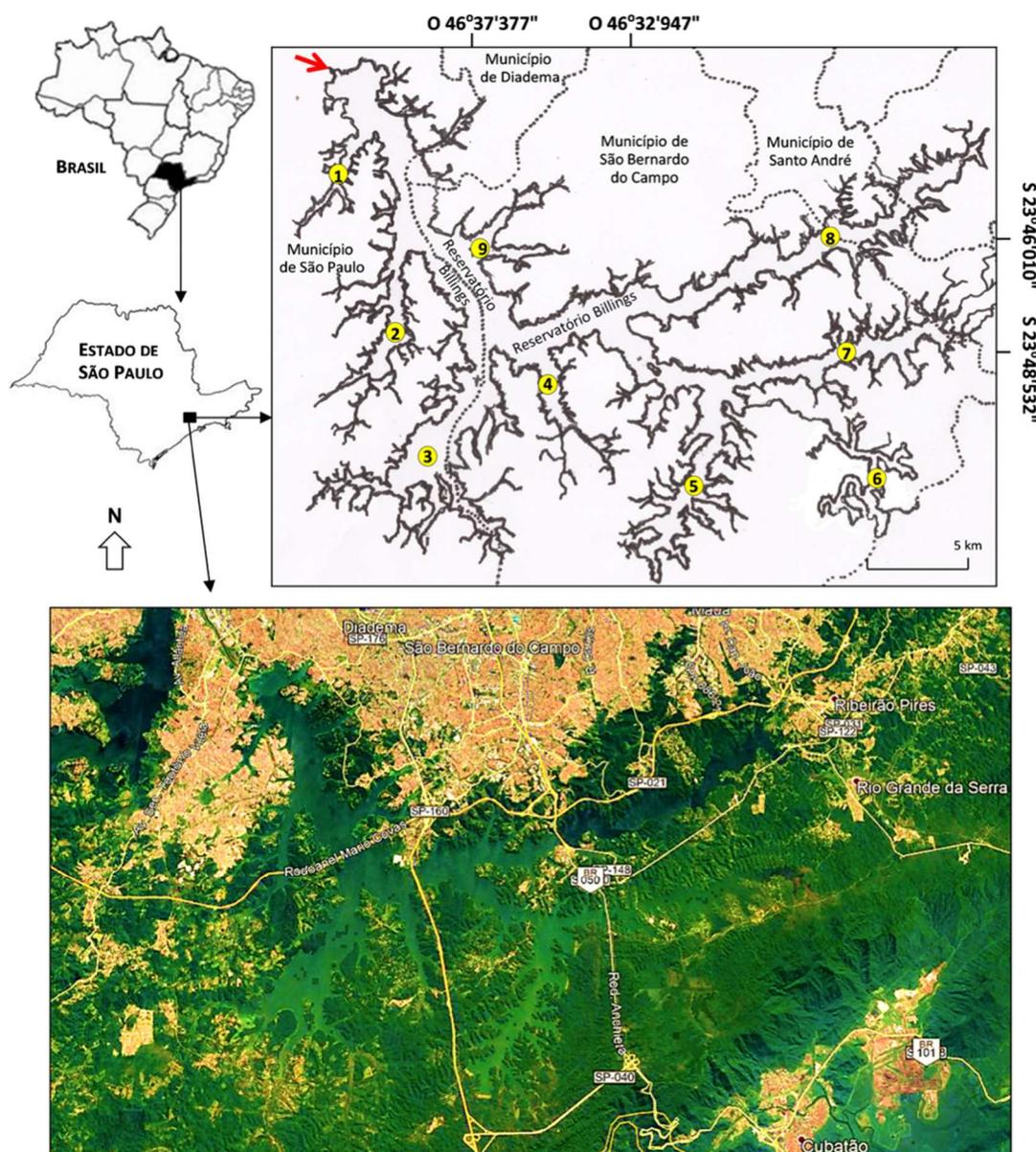


Figura 6.1 - Reservatório Billings e principais compartimentos (braços): 1) Cocaia, 2) Bororé, 3) Taquacetuba, 4) Pedra Branca, 5) Capivari, 6) Rio das Pedras, 7) Rio Pequeno, 8) Rio Grande e 9) Alvarenga. A seta vermelha indica local de entrada da água na transposição do Rio Pinheiros para a região de Pedreira na Billings. Linhas pontilhadas: limites municipais. Imagem de satélite modificada de Google Earth com altitude aproximada do ponto de vista de 45 km

Embora tenha sido criada para geração de energia na usina hidroelétrica de Cubatão (rebatizada de Usina Henry Borden), atualmente a Billings apresenta múltiplos usos como regulação do nível do rio Pinheiros por transposição de água para controle de inundações, diluição de efluentes, pesca profissional artesanal, abastecimento público de água e lazer (CARMO e TAGNIN, 2001; PENTEADO *et al.*, 2017; ROCHUMBACK, 2018).

A Figura 6.2 traz fotografia da região de Taquacetuba, compartimento utilizado na captação de água para o Sistema Produtor Taquacetuba-Guarapiranga.



Figura 6.2 - Região do Taquacetuba. 2009. Foto de Luiz Evangelista

Intensa urbanização é observada no entorno do reservatório, principalmente acima do paralelo Sul 23°46'12", especificamente na faixa norte do reservatório, ou seja, regiões de Cocaia, Pedreira e Alvarenga em São Paulo e Diadema (Figura 6.3), e também desde a região de Alvarenga até o Rio Grande em São Bernardo do Campo e Santo André. Nestas regiões as edificações praticamente seguem até as margens do reservatório. As regiões do entorno do braço Taquacetuba em São Paulo e do braço Pedra Branca em São Bernardo do Campo, são marcadas por pontos de urbanização e agricultura. O entorno a sudeste do reservatório, em São Bernardo do Campo, é a região mais preservada em relação à cobertura vegetal, especificamente, região de Capivari, Rio das Pedras e rio Pequeno.

Segundo CAMPANHA (2018), a região da represa Billings apresenta onze Unidades de Conservação (UC) divididas três categorias: a) Área de Preservação Ambiental (APA), b) Floresta e c) Parque, definidas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação, Lei Federal Nº 9.985 de 2000 (Brasil, 2000) sendo três de Uso Sustentável e oito de Proteção Integral, todas vinculadas à preservação de suas nascentes e cursos de água. A região conta ainda com três Terras Indígenas (TI), sendo uma declarada e duas regularizadas, que buscam assegurar os direitos de povos indígenas à terra de ocupação tradicional.

As Unidades de Conservação de uso sustentável são: APA Bororé-Colônia, APA Municipal do Capivari-Monos e Floresta Estadual Montanhão. Já as unidades de proteção integral compreendem: Parque Natural Municipal da Cratera de Colônia, Parque Natural Municipal Itaim, Parque Natural Municipal Estoril - Virgílio Simionato, Parque Natural Municipal do Pedroso, Parque Natural Municipal Varginha, Parque Estadual da Serra do Mar, Parque Estadual Águas da Billings (MMA, 2018; São Paulo, 2018). Em relação às terras indígenas, Tenondé-Porã (Guarani) é declarada e, Guarani-da-Barragem (Guarani-Kaiowá) e Krukutu (Guarani) são regularizadas (FUNAI, 2018 a, b, c; Terras Indígenas no Brasil, 2018 a, b, c).

### Histórico do reservatório Billings

O "Projeto da Serra" da Companhia *Light – The São Paulo Tramway, Light and Power Company Limited*, atualmente AES-Eletropaulo, foi colocado, em 1923, sob a responsabilidade do engenheiro Asa White Kenney Billings (Figura 6.4).



Figura 6.3 - Região de Cocaia, Pedreira e Alvarenga com intensa urbanização Google Earth 2018

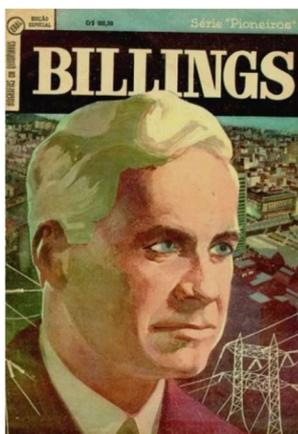


Figura 6.4 - Capa da revista “A curiosa história do Engenheiro Billings, o homem que fez os rios correrem ao contrário e mudou para sempre a cidade de São Paulo”, publicada em 1962

Fonte: [http://3.bp.blogspot.com/-t5lxK4aUoCo/Tlq\\_VvASFNI/AAAAAAAAAGuk/LqpH4xUCZ\\_4/s1600/billings+01.jpg](http://3.bp.blogspot.com/-t5lxK4aUoCo/Tlq_VvASFNI/AAAAAAAAAGuk/LqpH4xUCZ_4/s1600/billings+01.jpg)

Segundo CASTILHO (1997), o Projeto da Serra, inicialmente conhecido como Projeto Itapanhaú, havia sido criado pelo engenheiro Walter Charnley, que estudava desde 1910 a possibilidade de aproveitar o desnível da Serra do Mar na geração de energia hidroelétrica para a região industrial de Cubatão. Após longo estudo de campo na Serra do Mar, o engenheiro F. S. Hyde, apresentou uma solução melhor do que o Projeto Itapanhaú, Essa nova proposta previa o represamento do rio Grande (Jurubatuba), um dos afluentes do rio Tietê, nas proximidades da região de Pedreira, em Santo Amaro e o seu desvio para o córrego das Pedras que descia serra abaixo, desaguando no rio Cubatão. Com isso, nascia o projeto que levaria à construção do que atualmente (2018) continua sendo o maior reservatório do Estado de São Paulo.

Em 1924, São Paulo experimentou uma forte estiagem que provocou, segundo EMAE (2018), a redução de vazão dos rios e conseqüente diminuição de aproximadamente 30% do fornecimento de energia elétrica. Tal situação ocorreu exatamente no meio de uma década em que a cidade de São Paulo apresentava intenso crescimento industrial com conseqüente demanda de energia. Isto favoreceu investimentos em hidroelétricas em São Paul

As Figuras 6.5 e 6.6 mostram imagens atuais do reservatório Billings obtidas por imagem orbital banda NIR (infravermelho próximo) em 16Bits na data 16.02.2017 captadas por Landsat 8 e disponível em <https://libra.developmentseed.org/>. Banda NIR foi escolhida por contrastar a lâmina de água continental em tons de cinza próximo ao preto.

O ano de 1925 foi decisivo para a existência do reservatório Billings. Após determinar o local de construção da usina de Cubatão, a *Light*, no início desse ano, começou a adquirir as áreas que seriam inundadas no Grande ABC e Santo Amaro e a construção da usina. Iniciou-se também a construção das barragens nos rios Grande e das Pedras, formando dois reservatórios ligados entre si pelo córrego Água Fria (Summit Canal). No dia 27 de março de 1925, através do

Decreto Federal número 16844, o então presidente da república Arthur Bernardes, aprova o plano de obras para aproveitamento da força hidráulica de vários rios da Grande São Paulo. Sendo esta a data de comemoração oficial de inauguração do reservatório Billings. A partir década de 1930, foram realizadas as obras de retificação e reversão do rio Pinheiros e aumento do reservatório Billings em si, objetivando ampliar a capacidade de geração da Usina Henry Borden (Figura 6.7).

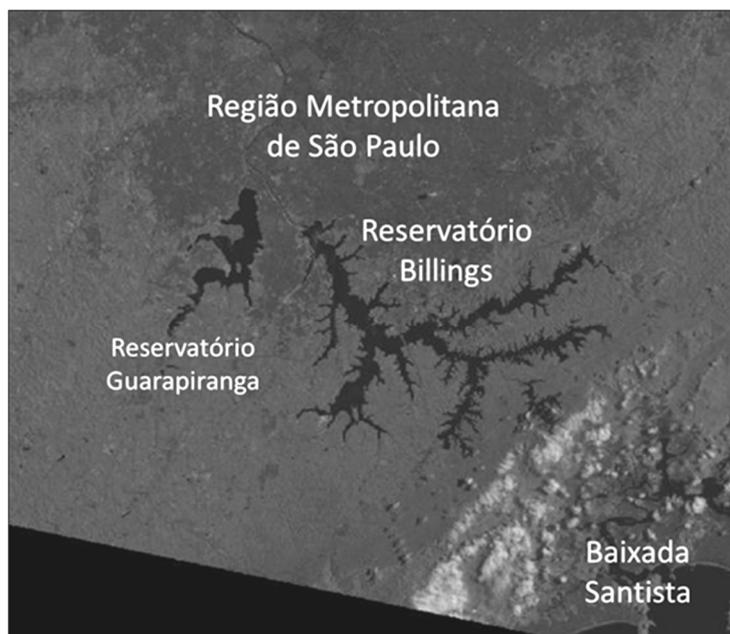


Figura 6.5 - Localização aproximada do Complexo Billings-Guarapiranga na porção sudeste do Estado de São Paulo, entre a Região Metropolitana de São Paulo e a Baixada Santista

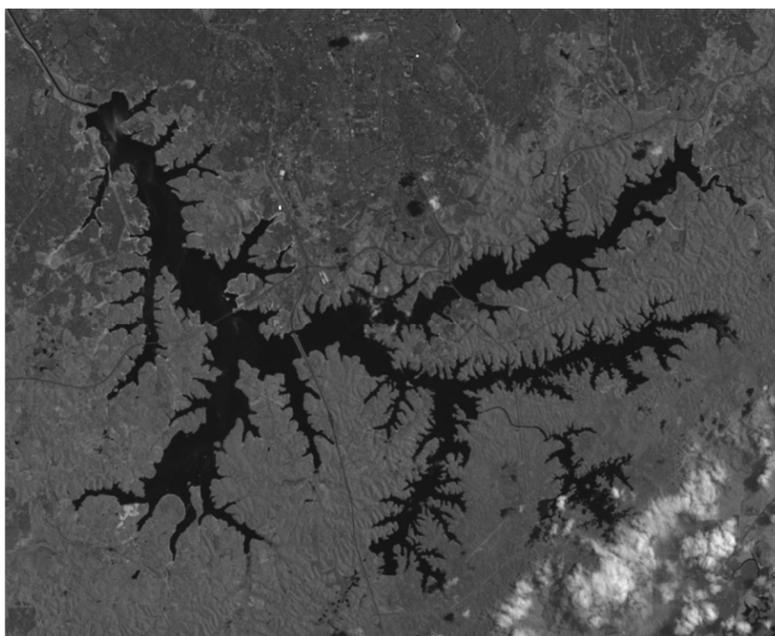


Figura 6.6 - Complexo Billings ampliado da imagem mostrada na Figura 6.5

Com a construção da Via Anchieta no final da década de 1940, e da construção da Rodovia dos Imigrantes na década de 1970, o uso da Billings para transporte fluvial à região, acabou se inviabilizando dado o acesso promovido pelas vias terrestres (CASTILHO, 1997). Mais recentemente, em 2013, foi construída sobre a represa a ponte do Rodoanel Metropolitano (Figura 6.8)



Figura 6.7 - Usina Henry Borden, de Cubatão. 1948. Acervo da Fundação Energia e Saneamento  
 Fonte: <http://alosaopaulo.com.br/memoria-de-sp-usina-henry-borden-os-90-anos-do-projeto-da-serra/>



a)



b)

Figura 6.8 - a) ponte da Rodovia dos Imigrantes, b) Rodoanel Metropolitano. Acervo pessoal, 2013

Segundo Gargiulo (2014) entre 1950 e 1970, o reservatório foi povoado por diversas espécies de peixes e contribuía com mais de 200 toneladas de pescado por ano, abastecendo muitos mercados inclusive a CEAGESP (Companhia Entrepósito de Armazéns Gerais do Estado de São Paulo). Neste período, diversos impactos ambientais começaram a ser observados, devido ao crescente e desordenado processo de urbanização e ocupação do entorno do reservatório (ROCHA *et al.*, 1985). Em 1982 foi realizado o isolamento do braço do rio Grande pela construção da barragem Anchieta, para garantir o abastecimento de água no complexo ABC (CAPOBIANCO e WHATELY, 2002).

No ano 2000, foi estabelecido o Sistema Produtor Taquacetuba-Guarapiranga que consiste na transposição de águas da Billings para a Guarapiranga (RODRIGUES *et al.*, 2010). Desta forma, atendendo medidas de adequação do sistema de abastecimento público previstas na resolução conjunta 03/92 da SMA/SES, atualizada pela resolução da SEE/SMA/SRHSO-I de 13.03.1996, ocorreu a partir de 2000 a suspensão do bombeamento contínuo do rio Pinheiros para a Billings, realizado pela estação elevatória de Pedreira. Esta medida reduziu a capacidade produtiva da usina Henry Borden em 75% (EMAE, 2010). Visando aumentar novamente o volume de água na represa para ampliar a capacidade produtiva de Henry Borden, foi desenvolvido o Protótipo de Flotação (Figura 6.9) que previa sistema de tratamento de água do rio Pinheiros por flotação para torná-la compatível com os padrões de qualidade para águas de classe 2, definidas

pela resolução CONAMA 357 (2005) e, permitindo a reativação do bombeamento de suas águas para a Billings (EMAE, 2010). No entanto, em 2010, esse protótipo de tratamento foi desativado pelo não cumprimento das disposições acima descritas. A partir de então, o bombeamento só pode ser realizado para controle de cheias (EMAE, 2010).

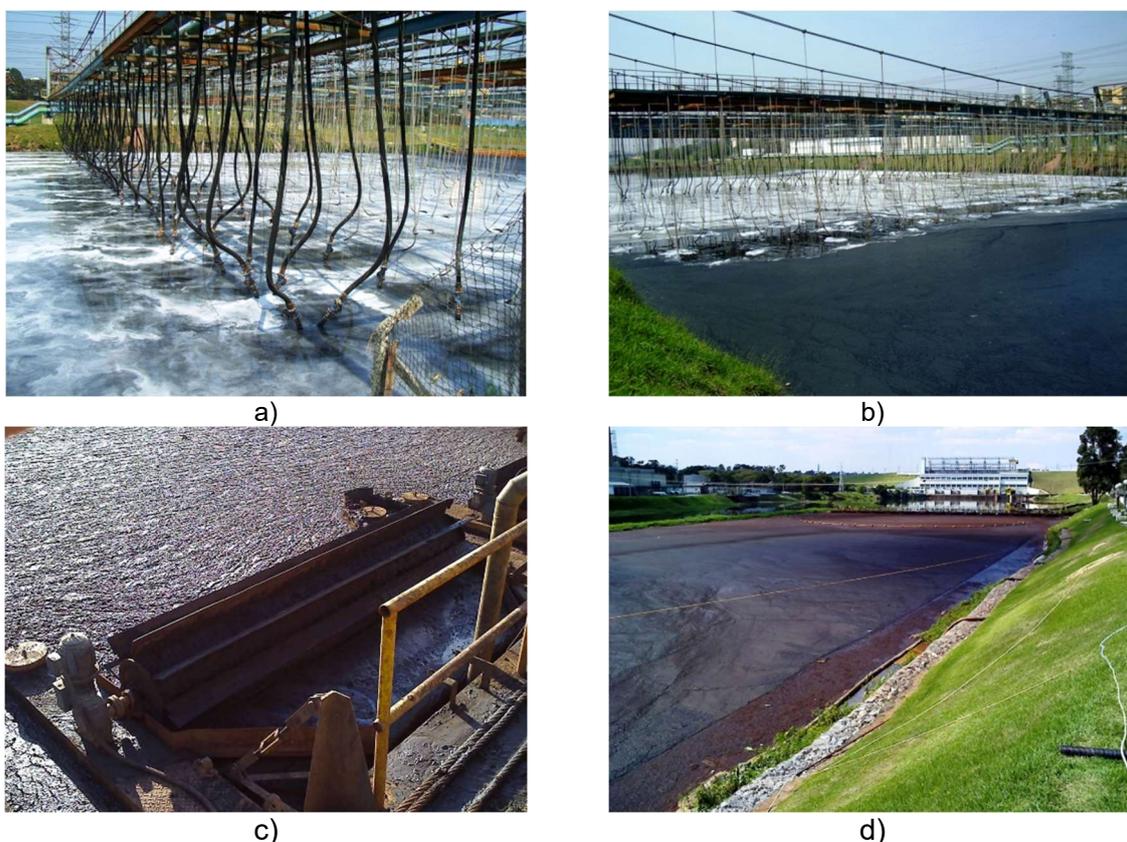


Figura 6.9 - Imagens das etapas do processo de flotação. (a): processo de floculação; (b): Injeção de ar dissolvido e flotação; (c): pás recolhedoras de lodo a jusante da estação para remoção de sólidos flutuantes e (d): Lodo produzido pela flotação

Fonte: <http://twixar.me/fkBT>

### Pesca profissional artesanal no reservatório Billings

Segundo Gargiulo (2014), a pesca na represa Billings tem diminuído ao longo dos anos bem como os usuários da atividade na região. De acordo com Rocha (1984), nas décadas de 1930 e 1940, havia aproximadamente 200 pescadores. De acordo com relatos dos pescadores atuantes há mais tempo na região, a Billings em décadas passadas, chegou a abrigar cerca de 600 famílias de pescadores (ALVES DA SILVA *et al.*, 2009). Na década de 1990, Minte-Vera (1997) estimou uma população de 101 pescadores e Alves da Silva *et al.* (2009) cerca de 113 pessoas regularmente atuantes na atividade.

Considerando o número de núcleos pesqueiros existentes na região, Ranzani de Paiva *et al.* (2006); Castro *et al.* (2008), e Alves da Silva *et al.* (2009), identificaram cerca de nove comunidades de pescadores espalhadas em diversos locais do reservatório, sendo as maiores, os núcleos Terceira Balsa, Bororé e Barragem. Segundo Rochumbach (2018), a colônia de pescadores Z17 “Orlando Feliciano” do reservatório Billings, conta com 530 pescadores profissionais artesanais cadastrados, dos quais mais de 200 são mulheres, sendo que do total, apenas 330 apresentam carteira de pescador profissional, devido à lentidão da Secretaria de Agricultura de São Paulo em expedir o documento. Outra reivindicação da colônia é a implantação de uma cooperativa para desembarque do pescado.

Segundo Alves da Silva *et al.* (2009), na Billings em 2005, o pescado foi consumido por 84,3% das famílias de pescadores, com média de 124,0 g/per capita/dia. De acordo com Petrere *et al.* (2006), os pescadores investigados sobre renda da pesca, possuíam um ganho médio diário

de US\$ 8,4 empregando principalmente a rede-de-entalhar (método de espera). O consumo de peixe na Billings entre 2005-2007 (ALVES DA SILVA et al, 2009), foi relativamente alto, no entanto não se dispõe de informações mais recentes sobre este item na dieta dos pescadores, o que seria recomendável, uma vez que desde a década anterior ao estudo (CETESB, 2007) a qualidade da água na maioria dos pontos monitorados estava em não conformidade com as recomendações do CONAMA para corpos de água da classe 2 (CONAMA Nº 357 de 2005) No entanto, é necessário considerar que este reservatório apresenta heterogeneidade espaço-horizontal quanto às características limnológicas e quanto à estrutura das comunidades aquáticas (COSTA, 1998), havendo maior diversidade em regiões mais afastadas da Estação elevatória de Pedreira, devido à influência da descarga do rio Pinheiros (bombeamento de transposição de águas por ocasião de cheias) e ao uso do solo na bacia, sendo que as regiões de Alvarenga e Pedreira apresentam solo urbano em seu entorno, enquanto que em Taquacetuba, mais preservada, há presença de mata e de áreas cultivadas. Fato já relatado pelos pescadores, quando da preferência em áreas com qualidade da água mais adequada, pois isso não comprometeria a venda do peixe ao consumidor (ALVES DA SILVA et al., 2009).

A Figura 6.10 mostra peixe típico obtido atualmente com a pesca artesanal profissional presente na Billings.



Figura 6.10 - Típico peixe obtido na Billings em 2018. Foto de Vanderlea Rochumback

Segundo Castro et al. (2011), a fauna de peixes de 2005 a 2007 no reservatório Billings foi representada por um total de 16 grupos taxonômicos (famílias) principalmente Characidae, Pimelodidae e Cichlidae, sendo que a maioria das espécies (89,3%) apresentam hábitos onívoro, herbívoro, bentófago e detritívoro o que caracteriza fauna de ambientes lênticos. A pesca artesanal praticada na região está centrada basicamente em poucas espécies, em especial Acará (*Geophagus brasiliensis*), Tilápias (*Oreochromis niloticus* e *Tilapia rendalli*), Lambari (*Astyanax* spp.) e secundariamente em Traíra (*Hoplias malabaricus*) e Bagre (*Rhamdia* spp.). Segundo levantamento de Tutui et al. (2013), com o setor produtivo pesqueiro, em 2012 no reservatório Billings ocorreu aumento de capturas de Traíra (*H. malabaricus*), Lambari (*Astyanax* spp.), Acará (*G. brasiliensis*), Caborja (*Callichthys callichthys*) e Carpa (*Cyprinus carpio*) e, redução nas capturas de Tilápias (*O. niloticus* e *T. rendalli*) comparativamente com anos anteriores.

Em relação ao peixe, Vanderlea Rochumback ressalta que a principal ictiofauna capturada na Billings, está centrada em Carpa, Tilápias e Traíra na região de Taquacetuba, Bororé e Imigrantes, e Tilápias, Acará, Traíra e Lambari na região de Capivari e Rio Pequeno, sendo que nas cabeceiras do Rio Pequeno e do Capivari o peixe apresenta melhor sabor. É fácil identificar peixes obtidos em Alvarenga devido ao sabor desagradável do peixe obtido nessa região que é evitada pelos pescadores e não recomendada à pesca, segundo Gargiulo et al (2016) e Menezes et al. (2016), devido à elevada poluição orgânica na região dada à intensa urbanização de seu entorno.

### Qualidade da água no reservatório Billings

Limnologia (do grego *limné* = lago e *logos* = estudo, tratado) é ciência que trata da ecologia (do grego *óikos* = casa) das águas doces (continentais) (do latim *dulcis*), com respeito a

suas condições ou aspectos biológicos, químicos, físicos, meteorológicos, geológicos ou ecológicos. Tais estudos incluem rios e riachos conhecidos como ambientes lóticos (do latim *lautus* = lavado, participio passado de *lavare*), bem como lagos e reservatórios denominados ambientes lênticos (do latim *lentus* = lento), segundo Sperling (2005).

Estudos limnológicos do reservatório Billings são desenvolvidos por cientistas em universidades e institutos de pesquisa principalmente públicos, além de monitoramento da qualidade da água desenvolvido pela agência ambiental paulista CETESB. Nessas pesquisas são coletadas amostras de água e sedimento com equipamentos específicos (Figura 6.11) para avaliar características físicas e químicas, bem como organismos presentes no fitoplâncton (flutuantes ex.: algas – cianobactérias), zooplâncton (flutuantes ex.: crustáceos - copépodes), nécton (livre natantes da coluna de água ex.: peixes) e bento (ligados ao sedimento ex.: larvas de insetos – chironomídeos, e oligoquetos).

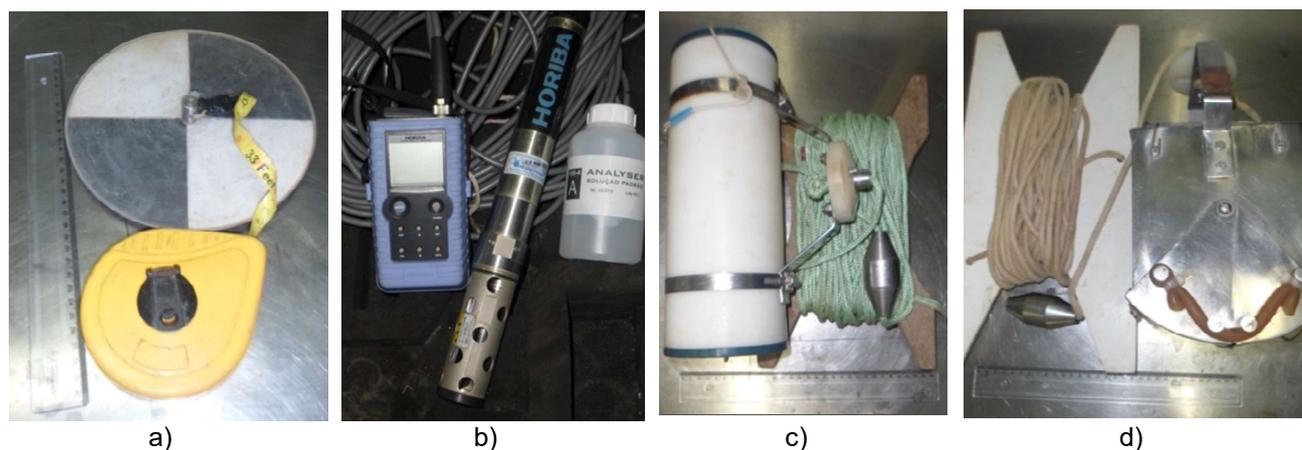


Figura 6.11 - Alguns equipamentos utilizados em limnologia: (a): disco de Secchi para medir a transparência da água; (b): sonda multi-parâmetros para mensurar ao longo da coluna de água parâmetros como pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e temperatura da água; (c): garrafa de van Dorn para coletar água em diferentes profundidades e (d): pegador Ekman-Birge, para amostrar sedimentos

Na água são avaliadas principalmente concentrações de compostos químicos fosfatados e nitrogenados que podem causar processos de eutrofização por representarem nutrientes para o desenvolvimento de algas inclusive tóxicas como cianobactérias (vide imagem inicial do capítulo). Tais compostos são provenientes principalmente de esgotos domésticos e resíduos agrícolas. São também avaliados outros parâmetros de qualidade da água como concentração de gás oxigênio, pH, condutividade elétrica, turbidez, temperatura e metais potencialmente tóxicos. No sedimento são avaliadas as concentrações de fósforo e nitrogênio totais e metais potencialmente tóxicos. Em relação aos organismos, avalia-se a densidade por metro quadrado, abundância relativa, diversidade, riqueza e uniformidade, conhecidos resumidamente como índices bióticos.

Os bentos (benton, zoobentos) são muito utilizados como bioindicadores da qualidade de água basicamente por terem locomoção limitada, ciclo de vida longo e ampla variedade de tolerância à poluição orgânica, segundo Rosenberg e Resh (1993). Os táxons mais representativos da biota (comunidade de seres vivos), em especial do benton (macroinvertebrados bentônicos), juntamente com a análise de variáveis abióticas fornecem um diagnóstico da qualidade da água, tendo em vista que os macroinvertebrados bentônicos são considerados um dos melhores bioindicadores do grau de contaminação de ambientes aquáticos (MERRITT e CUMMINS, 1995).

Segundo CETESB (2018), o zoobentos pode ser agrupados (classificados) de acordo com o grau de sensibilidade/tolerância à poluição orgânica, assim, organismos sensíveis indicam melhor qualidade ambiental. Quando o corpo de água apresenta grau contaminação orgânica, passam a sobreviver apenas organismos semi-tolerantes e tolerantes ou mesmo apenas os tolerantes quando a contaminação se mostra elevada, tornando inviável a sobrevivência de organismos menos resistentes. A Figura 6.12 mostra alguns organismos do zoobentos

amostrados por Gargiulo *et al.* (2016) em 2012 e 2013 no reservatório Billings e fotografados em microscópio estereoscópico (escala em milímetros).

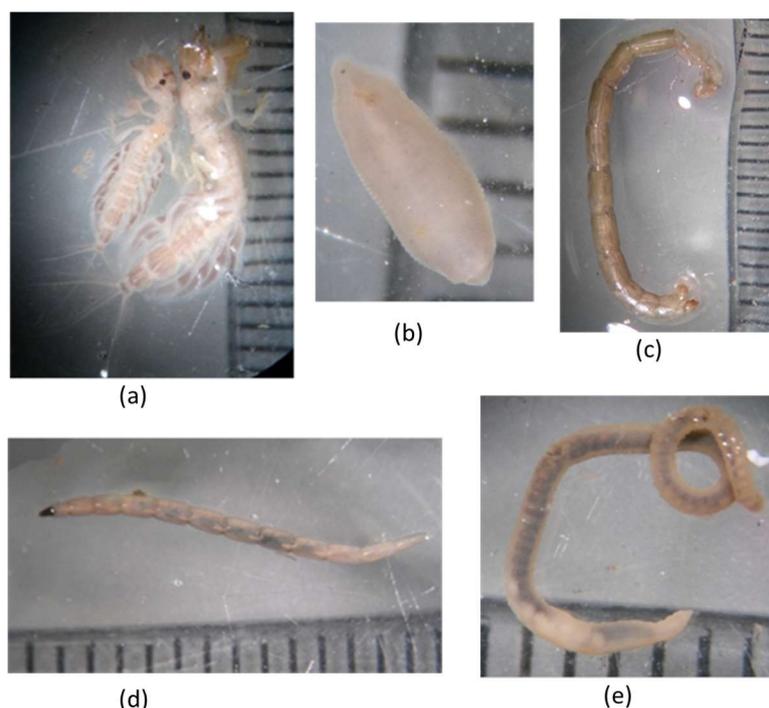


Figura 6.12 - Organismos sensíveis à poluição orgânica - (a): Ephemeroptera Polymitarcyidae (dois indivíduos fotografados), encontrados no braço Taquacetuba. Organismos semi-tolerantes à poluição orgânica - (b): Glossiphoniidae *Helobdella stagnalis*, amostrado próximo à Ilha dos Biguás na entrada do Capivari; (c): Chironomidae Chironomini, encontrado próximo à ilha dos Biguás; (d): Ceratopogonidae encontrados em Alvarenga. Dentre os organismos tolerantes, foi amostrado (e): Oligochaeta (especialmente Naididae), em Alvarenga. Escala em milímetros.

A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama nº. 357 (2005) dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, entre outras providências. Desta forma, a partir dos limites estabelecidos, podem-se confrontar dados de pesquisa para determinação da qualidade da água.

O processo conhecido como eutrofização (do adjetivo grego. *eus* = muito, bom, verdadeiro, bravo, nobre, sendo *eu* o advérbio + *trophós* = alimento, *trofi* = alimentar, nutrir) (SPERLING, 2005) representa o aumento de concentração de nutrientes fosfatados e nitrogenados (normalmente oriundos de esgotos domésticos e agrícolas) que sustentam a proliferação de algas e macrófitas-vegetais (produção primária) (ESTEVEZ, 1998) Assim, águas doces com intensa coloração verde podem conter cianobactérias e esgoto urbano. Os índices de estado trófico – IET de Carlson (1997) e Lamparelli (2004) representam cálculos que permitem avaliar a qualidade da água pelas concentrações de fósforo total, clorofila e também transparência da água, classificando o corpo de água, de forma resumida, em águas oligotróficas (do grego *oligos* = pouco) que são de melhor qualidade, águas mesotróficas (do grego *mésos* = meio, centro) de qualidade intermediária e águas supereutróficas de má qualidade. Classificações como águas ultraoligotróficas (excelentes) e hipereutróficas (péssimas qualidades) são observadas no índice de Lamparelli utilizado pela CETESB (2017).

Pesquisas científicas e de monitoramento recentes (CARDOSO-SAILVA *et al.*, 2014; MENEZES *et al.*, 2016; GARGIULO *et al.*, 2016, CETESB, 2017) indicam péssima qualidade da água na região de Pedreira próximo do ponto de transposição de água do rio Pinheiros por ocasião de chuvas, apresentando altos teores de nutrientes e clorofila resultando em águas hipereutróficas. As regiões de Alvarenga, Cocaia e Bororé, principalmente junto ao corpo central do reservatório Billings, apresentam elevado comprometimento da qualidade da água, normalmente supereutróficas e com parâmetros de qualidade da água em **não** conformidade com

os limites CONAMA para águas doces de classe 2 (enquadramento da maioria das regiões da Billings), devido à intensa urbanização do entorno e da citada transposição das águas do rio Pinheiros.

Hortellani *et al.* (2013) indicam Alvarenga como área crítica para acumulação de metais potencialmente tóxicos. Esses autores enfatizam ainda que os metais: alumínio, cádmio, cromo, cobre, mercúrio, manganês, chumbo, níquel e zinco apresentam elevadas concentrações ao longo do reservatório, sugerindo associação com fontes antropogênicas. As regiões de Taquacetuba, Pedra Branca, Ilha dos Biguás (Figura 6.13) próximo à entrada do braço Capivari e braço Capivari próximo ao corpo central do reservatório, mostram qualidade de água intermediária variando entre eutróficas e supereutróficas. O braço do Rio Grande, separado por barragem do corpo central, por isso chamado de reservatório Rio Grande, apresenta qualidade intermediária, variando entre mesotróficas e eutróficas, com grandes quantidades de lançamento de algicida devido o uso de suas águas para abastecimento público. O braço do rio Pequeno cuja água é transposta ao reservatório do rio Grande, mostra-se variando de oligotróficas a mesotróficas, com menores teores de nutrientes. Rochumbach (2018) ressalta que o aumento do escoamento de água para a usina Henry Borden, muda a circulação de água na represa, levando água mais limpa do sudeste da Billings para a usina, e trazendo água de Pedreira (transposta do rio Pinheiros) para as partes mais centrais do reservatório, inclusive braço Taquacetuba e rio Pequeno, prejudicando a qualidade da água dessas regiões.



Figura 6.13 - Ilha dos Biguás, à esquerda, próximo à entrada do braço Capivari, 2013  
Acervo pessoal

Outra avaliação em reservatórios é a estratificação da coluna de água. Ambientes estratificados apresentam águas superficiais quentes com disponibilidade de gás oxigênio e águas profundas frias com acúmulo de nutrientes e falta de oxigênio. Porém, o reservatório Billings por apresentar águas rasas (menos que 13 metros de profundidade) mostra circulação total de água ao longo da coluna de profundidade, com pequena estratificação de superfície sem apresentar anoxia (falta de oxigênio) de fundo. De forma geral, as condições de circulação da coluna d'água favorecem a oxigenação e depuração das águas fazendo com que se tenha uma melhora da sua qualidade ao se afastar do local de bombeamento do rio Pinheiros (Pedreira), segundo Menezes *et al.* (2016).

As pesquisas desaconselham atividade pesqueira nas regiões com entorno mais urbanizado, principalmente Pedreira, Alvarenga, Cocaia e Bororé, principalmente junto ao corpo central do reservatório. Regiões estas evitadas pela grande maioria dos pescadores que inclusive relatam gosto e odor desagradáveis do pescado obtido nelas.

## Perspectivas e soluções para o reservatório Billings

Quando teremos água *verdadeiramente* limpa em nossos rios e represas?

A questão que abre este item foi colocada por Gargiulo e Gonçalves (2018) em uma matéria jornalística. Esses autores ressaltam que para garantir a recuperação e conservação de recursos hídricos, é necessária a criação de uma agenda ambiental permanente de soluções desligadas de interesses particulares e eleitorais, por um grupo consultivo efetivamente funcional, com participação de todos os setores, visando controle do uso e ocupação do solo do entorno, garantindo áreas de vegetação, além de coleta e tratamento de esgoto das áreas urbanas.

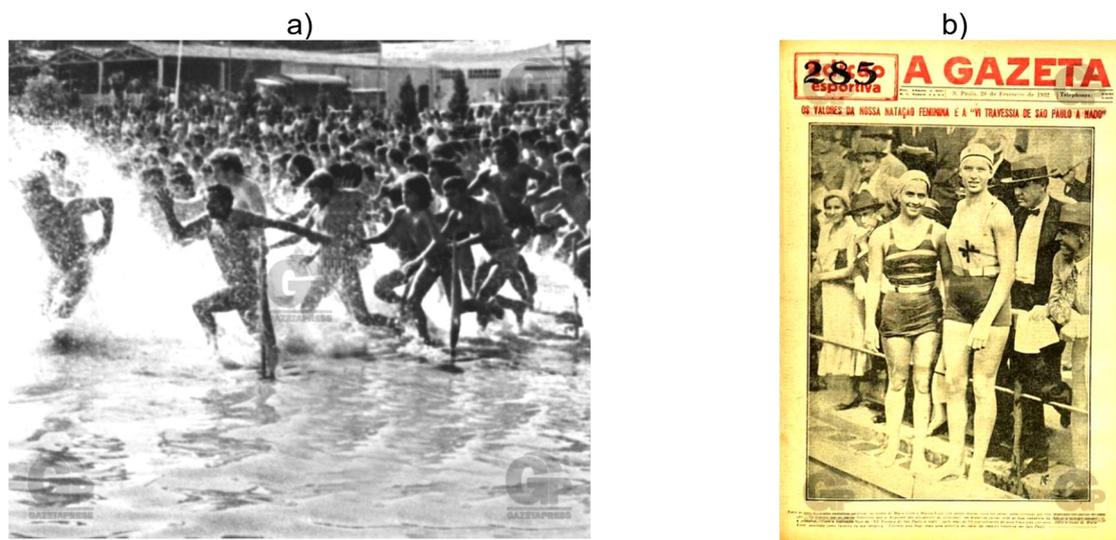


Figura 6.14 - (a): nadadores participantes da Travessia de São Paulo no reservatório Billings em 1974, publicada por “A Gazeta” em 15.05.1974 e b) capa de “A Gazeta” de 25.02.1932

Fontes: <https://www.gazetapress.com/>, <http://www.gazetapress.com/busca/fotos/?q=travessia+de+s%C3%A3o+paulo+a+nado>

A solução da questão do esgoto traz benefícios financeiros e qualidade ambiental para os mananciais, segundo o Dr. Marcelo Pompêo professor do Instituto de Biociências da USP. Embasado por suas pesquisas científicas, ele afirma que no reservatório Guarapiranga, gastos financeiros com a aplicação de produtos químicos para o controle da proliferação de algas resultante da poluição, equivalem nos últimos 40 anos, aos custos da implantação de coleta e tratamento de esgoto das áreas urbanizadas próximas, com dados baseados em Leal *et al.* (2018). Tais produtos químicos, especificamente sulfato de cobre e peróxido de hidrogênio, também são utilizados na Billings com as mesmas finalidades, trazendo problemas como aumento da concentração de cobre nas águas e sedimento, que é um metal potencialmente tóxico para todos os seres vivos. Outra ação vista como fundamental é a recuperação das águas do rio Pinheiros cujas águas contaminadas são transpostas à Billings para o controle de enchentes, como frisa a pesquisadora Dra. Luciana Menezes do Instituto de Pesca do Estado de São Paulo. O desenvolvimento de efetivo programa de educação ambiental com cursos de capacitação para pescadores da região traria benefícios na busca de qualidade ambiental e opção de renda familiar além da pesca, como frisa Vanderlea Rochumbach, presidente da Colônia de Pescadores Z-17 “Orlando Feliciano” da região da Billings.

Atualmente, segundo Gargiulo e Gonçalves (2018), o Estado conta com a somatória de excelentes condições que devem representar as bases das decisões e ações junto aos recursos hídricos, principalmente no que se refere a uma legislação avançada sobre a questão ambiental, que necessita principalmente de atualizações das normativas, além de eficientes órgãos públicos que desenvolvem pesquisas, monitoramentos e controle das águas, como CETESB, SABESP, EMAE, institutos de pesquisa e universidades, que necessitam principalmente de maior divulgação científica das pesquisas que desenvolvem, de forma acessível ao público em geral. Diversos projetos já foram sugeridos ou desenvolvidos para a região da Billings, tais como criação

e manutenção de bairros ecologicamente sustentáveis ecológicos; em São Bernardo do Campo, agricultura familiar, atualização do zoneamento das áreas do entorno do reservatório e criação da Escola de Formação Ambiental Billings em Santo André, recuperação e conservação mananciais em Ribeirão Pires, e em São Paulo, agricultura orgânica no bairro Parelheiros, desenvolvimento rural sustentável na área de proteção ambiental Capivari-Monos, mapeamento de assentamentos precários e irregulares e recuperação de área de lixão desativado com criação de parque urbano e gestão de resíduos de construção civil no bairro Alvarenga. Tais projetos podem orientar o planejamento das intervenções que envolvam todo o complexo dos reservatórios, visando melhorias sociais, ambientais e econômicas da região e de toda a sociedade que se beneficia com os produtos e serviços oferecidos por estes recursos hídricos.



Figura 6.15 - “Piscina” em pleno Rio Pinheiros – década de 1920  
Fonte: <http://www.ecp.org.br/wp-content/uploads/2017/01/003653.jpg>



Figura 6.16 - Eutrofização no braço Taquacetuba. Margem vista do barco, 2017. Acervo Pessoal

Somente teremos água *verdadeiramente* limpa em nossos rios e represas com COMPROMETIMENTO de toda a nação com a EDUCAÇÃO ESCOLAR, com a PESQUISA CIENTÍFICA e também com acesso de ambos a todo cidadão pessoa à educação e a ciência. Desta forma a sociedade terá condições de garantir a PRESERVAÇÃO DA QUALIDADE E CARACTERÍSTICAS DOS AMBIENTES, bem como o USO SUSTENTÁVEL DE SEUS RECURSOS. Neste sentido, a legislação brasileira tem preceitos que permitem à sociedade CONSCIENTIZAÇÃO INDIVIDUAL E COLETIVA DA REALIDADE o que leva à busca pela melhoria da qualidade de vida em todos os sentidos, o que inclui a melhoria da qualidade do meio ambiente. Por exemplo, a Constituição da República Federativa do Brasil (BRASIL, 1988) garante

pelo artigo. 225 que "TODOS TÊM DIREITO AO MEIO AMBIENTE ECOLOGICAMENTE EQUILIBRADO, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações". Coloca no artigo 5, a EDUCAÇÃO como "DIREITO DE TODOS e dever do Estado e da família, devendo ser promovida e incentivada com a colaboração da sociedade, visando ao pleno desenvolvimento da pessoa, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho". Garante pelo artigo 218 que o Estado promoverá e incentivará o DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO, a pesquisa, a capacitação científica e tecnológica e a inovação, sendo que, no parágrafo 1º, coloca que a PESQUISA CIENTÍFICA BÁSICA e tecnológica receberá TRATAMENTO PRIORITÁRIO do Estado, tendo em vista o bem público e o progresso da ciência, tecnologia e inovação. Somente assim, será possível o pleno exercício da cidadania e, realidade a preservação e uso sustentável dos recursos ambientais.

A partir disto, seguem legislações e documentos que teoricamente visam a concretização dessa realidade garantida como direito na Constituição, especificamente em vigor Lei de Diretrizes e Bases da Educação – LDB (BRASIL, 1996), Plano Nacional de Educação – PNE (BRASIL, 2014), Base Nacional Comum Curricular BCNN (BRASIL, 2017), e documentos que constituem um referencial de qualidade para a educação, como os Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino Fundamental - PCNs (BRASIL, 1997) e para o ensino médio – PCNEM (BRASIL, 200).

O ensino será ministrado com base nos princípios, por exemplo, de IGUALDADE de condições para o ACESSO e permanência na escola, VALORIZAÇÃO do profissional da educação escolar (BRASIL, 1996, Art. 3º), onde a DIVERSIFICAÇÃO DOS CURRÍCULOS escolares definida em cada sistema de ensino deverá estar HARMONIZADA à Base Nacional Comum Curricular e ser articulada a partir do CONTEXTO HISTÓRICO, ECONÔMICO, SOCIAL, AMBIENTAL E CULTURAL (BRASIL, 1996, Art. 35-A, § 1º referente ao caput do Art. 26).

Para o processo educacional ser dinâmico e eficaz em todos esses sentidos, é premente e constante a necessidade de resgatar e aprofundar valores e princípios que ampliem e melhorem a qualidade da educação escolar, nesse sentido documentos com os parâmetros curriculares nacionais (BRASIL, 1997 e 2000b) são referências de conteúdos escolares necessários para o indivíduo compreender a Natureza como um todo dinâmico e perceber-se integrante, dependente e agente transformador do ambiente, identificando seus elementos e as interações entre eles, contribuindo ativamente para a melhoria da qualidade ambiental (BRASIL, 1997). Espera-se que a escola contribua para a constituição de uma cidadania com protagonismo responsável frente às questões socioambientais, que vise ampliação da qualidade de vida em todos os sentidos, o que inclui meio ambiente saudável (BRASIL, 2000b).

É urgente a conscientização para a preservação das águas continentais, rios, riachos, lagoas e reservatórios como o Billings, dada sua importância para a vida e todas as facetas que envolvem a sociedade e o país, assim, educação ciência e legislação devem estar interligadas e condizentes nesse sentido.

## Agradecimentos

Ao Biólogo Prof. Dr. Marcelo Pompêo, docente do departamento de ecologia da Universidade de São Paulo – USP, pela organização desta obra, fornecimento de imagens e de informações a respeito das ações necessárias para recuperação da represa. À Bióloga Profa. Dra. Luciana Carvalho Bezerra de Menezes, pesquisadora científica do Instituto de Pesca do Estado de São Paulo, pelas informações a respeito da utilização do zoobentos como bioindicadores da qualidade da água. À Mestre fluvial Vanderlea Rochumbach, presidente da comunidade Z17 “Orlando Feliciano” de pescadores artesanais profissionais, pelas informações a respeito da realidade da pesca no reservatório e fornecimento de imagens. Ao Técnico Químico Luiz Cláudio dos Santos Evangelista do Instituto de Pesca SP, pelo fornecimento de informações e imagens. Ao Ecólogo Luis Campanha, pelas informações sobre unidades de conservação e terras indígenas na região do reservatório. À Jornalista Helaine Ciqueto (MTB: 37541), pela revisão ortográfica do texto e pesquisa de imagens históricas.

## REFERÊNCIAS

ALÔ SÃO PAULO. **Memória de SP: Usina Henry Borden - os 90 anos do Projeto da Serra.** São Paulo: Alô São Paulo, (s.d.). Disponível em: <http://alosaopaulo.com.br/memoria-de-sp-usina-henry-borden-os-90-anos-do-projeto-da-serra>. Acesso em: ago. 2018.

ALVES DA SILVA, M. E. P.; CASTRO, P. M. G.; MARUYAMA, L. S.; PAIVA, P. Levantamento da pesca e perfil socioeconômico dos pescadores artesanais profissionais no reservatório Billings. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 531-543, 2009. Disponível em: [https://www.pesca.sp.gov.br/35\\_4\\_531-543.pdf](https://www.pesca.sp.gov.br/35_4_531-543.pdf). Acesso em: jun. 2018.

PEREIRA, P. Os rios da cidade, e seu passado feliz. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 20 jan. 2001. Blog da Garoa.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: mai. 2018.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Dispõem diretrizes e bases da educação nacional. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1996/lei-9394-20-dezembro-1996-362578-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em: mai. 2018.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.796, de 04 de abril de 2013**. Altera a Lei nº 9.394, que dispõem diretrizes e bases da educação nacional. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Ato2011-2014/2013/Lei/L12796.htm#art1](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2011-2014/2013/Lei/L12796.htm#art1). Acesso em: mai. 2018.

BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais**: introdução aos parâmetros curriculares nacionais. Brasília, DF: MEC/SEF, 1997. 126 p. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro01.pdf>. Acesso em: mai. 2018.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal e institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2000a. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm). Acesso em: mai. 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio (PCNEM)**. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2000b. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/conaes-comissao-nacional-de-avaliacao-da-educacao-superior/195-secretarias-112877938/seb-educacao-basica-2007048997/12598-publicacoes-sp-265002211>. Acesso em: mai. 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros curriculares nacionais (ensino médio)**: parte I - Bases Legais. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2000b. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>. Acesso em: mai. 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros curriculares nacionais (ensino médio)**: orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2000b. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em: mai. 2018.

BRASIL. **Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014**. Aprova o Plano Nacional de Educação – PNE. Brasília, DF: Presidência da República, 2014. Disponível em: <http://pne.mec.gov.br/18-planos-subnacionais-de-educacao/543-plano-nacional-de-educacao-lei-n-13-005-2014>. Acesso em: mai. 2018.

BRASIL. Ministério de Educação. **Resolução CNE/CP nº 2, de 22 de dezembro de 2017**. Institui e orienta a implantação da Base Nacional Comum Curricular, a ser respeitada obrigatoriamente ao longo das etapas e respectivas modalidades no âmbito da Educação Básica. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2017. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/RESOLUCAOCNE\\_CP222DEDEZEMBRODE2017.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/RESOLUCAOCNE_CP222DEDEZEMBRODE2017.pdf). Acesso em: mai. 2018.

BRASIL. Ministério de Educação. **Base nacional comum curricular (BNCC)**. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2017. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/conselho-nacional-de-educacao/base-nacional-comum-curricular-bncc>. Acesso em: mai. 2018.

CAMPANHA, L. Levantamento Bibliográfico e informações sobre unidades de conservação e terras indígenas na região do reservatório Billings [informação enviada, pelo autor, por e-mail]. 2018.

CAPOBIANCO, J. P.; WHATELY, M. **Billings 2000**: ameaças e perspectivas para o maior reservatório de água da região metropolitana de São Paulo. Relatório do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Billings no período 1989-99. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2002. Disponível em:

<http://www.bibliotecadigital.abong.org.br/bitstream/handle/11465/1301/286.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Acesso em: jun. 2019.

CARDOSO-SILVA, S.; NISHIMURA, P. Y.; PADIAL, P. R.; MARIANI, C. F.; MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPEO, M. L. M. Compartimentalização e qualidade da água: o caso da Represa Billings. **Bioikos**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 31-43, 2014. Disponível em: <http://revistas.bvs-vet.org.br/bioikos/article/view/24619>. Acesso em: jan. 2015.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1997. DOI: <https://dx.doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>. Disponível em: <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.4319/lo.1977.22.2.0361>. Acesso em: mai. 2015.

CARMO, R. L.; TAGNIN, R. Uso múltiplo da água e múltiplos conflitos em contextos urbanos: o caso do Reservatório Billings. In: HOGAN, D. J. *et al.* (org.). **Migração e ambiente nas aglomerações urbanas**. Campinas: Núcleo de Estudos de População/UNICAMP, 2001: p. 421-4441. Disponível em: [http://www.nepo.unicamp.br/publicacoes/migracao\\_urbanas.html](http://www.nepo.unicamp.br/publicacoes/migracao_urbanas.html). Acesso em: nov. 2019.

CASTILHO, J.C. **História do reservatório Billings e as bacias hidrográficas do ABC**. [s.l.: s.d], 1997. (Apostila). Disponível em: <https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/24D00015.pdf>. Acesso em: set. 2018.

CASTRO, P. M. G.; ALVES DA SILVA, M. E. P.; MARUYAMA, L. S.; PAIVA, P. Mapeamento da pesca artesanal no reservatório Billings (Alto Tietê, SP). **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 3, n. esp., p. 23-29, 2008. Trabalho apresentado na I Semana Nordestina de Engenharia de Pesca, 2008, São Luís.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. **A curiosa história do Engenheiro Billings, o homem que fez os rios correrem ao contrário e mudou para sempre a cidade de São Paulo**. Rio de Janeiro: CBDB, (s.d.). Disponível em: <http://www.cbdb.org.br/documentos/news/32/engenheirobillings.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Relatório de qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo de 2006. São Paulo: CETESB, 2007. 387 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: set. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Atlas de cianobactérias da bacia do Alto Tietê**. São Paulo: CETESB, 2014. Disponível em: <https://www.cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2015/01/atlas-ciano-mar-2014.pdf>. Acesso em: set. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo em 2016**. São Paulo: CETESB, 2017. 303 p. (Relatório Técnico). Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: set. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo em 2017**. São Paulo: CETESB, 2018. (Relatório Anual). Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: set. 2018.

COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS. **Elaboração do plano de desenvolvimento e proteção ambiental da bacia hidrográfica do Reservatório Billings**. São Paulo: COBRAPE, 2010. 251 p. (Relatório Final). Disponível em: <http://pdpa.cobrape.com.br/Arquivos/Pdpas/PDPA-Billings.pdf>. Acesso em: set. 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, N. 53, 18 março 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: abr. 2015.

COSTA, M. P. **A ictiofauna como indicadora da qualidade ambiental do Complexo Billings**. 1998. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA S.A. **Avaliação do Sistema Pinheiros-Billings com o protótipo de flotação**. São Paulo: EMAE/FCTh, 2009. (Relatório Final). Disponível em: <http://www.emae.com.br/conteudo.asp?id=Flotacao>. Acesso em: nov. 2019.

- EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA S.A. **Histórico**. São Paulo: EMAE, (s.d.). Disponível em: <http://www.emae.com.br/conteudo.asp?id=Historico>. Acesso em: 01 ago. 2018.
- ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO. **Guarani da Barragem**. Brasília, DF: FUNAI, 2018b. Disponível em: [http://www.funai.gov.br/terra\\_indigena\\_3/mapa/index.php?cod\\_ti=14201](http://www.funai.gov.br/terra_indigena_3/mapa/index.php?cod_ti=14201). Acesso em: 23 jul. 2018.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO. **Krukutu**. Brasília, DF: FUNAI, 2018c. Disponível em: [http://www.funai.gov.br/terra\\_indigena\\_3/mapa/index.php?cod\\_ti=23601](http://www.funai.gov.br/terra_indigena_3/mapa/index.php?cod_ti=23601). Acesso em: 23 jul. 2018.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO. **Tenondé Porã**. Brasília, DF: FUNAI, 2018a. Disponível em: [http://www.funai.gov.br/terra\\_indigena\\_3/mapa/index.php?cod\\_ti=23602](http://www.funai.gov.br/terra_indigena_3/mapa/index.php?cod_ti=23602). Acesso em: 23 jul. 2018.
- GARGIULO, J. R. B. C. **Qualidade da água em locais de pesca do reservatório Billings (São Paulo): características físicas e químicas e macroinvertebrados bentônicos**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesca do Estado de São Paulo, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, São Paulo, 2014.
- GARGIULO, J. R. B. C. Recuperação ambiental do reservatório Billings (SP). **Jornal Cruzeiro do Sul**, Sorocaba, 13 mar. 2018. Disponível em: <https://www2.jornalcruzeiro.com.br/materia/867871/recuperacao-ambiental-do-reservatorio-billings-sp>. Acesso em: abr. 2018.
- GARGIULO, J. R. B. C.; MERCANTE, C. T. J.; BRANDIMARTE, A. L.; MENEZES, L. C. B. Benthic macroinvertebrates as bioindicators of water quality in Billings Reservoir fishing sites (SP, Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 28, out., 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X2315>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2179-975X2016000100315&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-975X2016000100315&lng=en&tlng=en). Acesso em: out. 2019.
- GAZETA PRESS. Agência de Fotos e Notícias. Resultado de pesquisa: “travessia+de+são+paulo+a+nado” década de 1930. (Acervo histórico de “A Gazeta” - reprodução de página do jornal “A Gazeta” de 28 de fevereiro de 1932 (<http://old.gazetapress.com/v.php?1:503700:6>) e nadadores da travessia de São Paulo a nado de 15 de maio de 1974 (<http://old.gazetapress.com/v.php?1:503595:6>).
- HORTELLANI, M. A.; SARKIS, J. E. S.; BEZERRA DE MENEZES, L. C.; BAZANTE-YAMAGUIISHI, R.; PEREIRA, A. S. A.; GARCIA, P. F. G.; MARUYAMA, L. S.; CASTRO, P. M. G. Assessment of metal concentration in the Billings reservoir sediments, São Paulo State, southeastern Brazil. **Journal of Brazilian Chemical Society**, v. 24, n. 1, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-50532013000100009>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-50532013000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-50532013000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=en). Acesso em: jul. 2019.
- INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Mananciais: diagnóstico e políticas habitacionais**. Brasília: ISA, 2008. Disponível em: [https://www.socioambiental.org/banco\\_imagens/pdfs/10368.pdf](https://www.socioambiental.org/banco_imagens/pdfs/10368.pdf). Acesso em: set. 2019.
- LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d’água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 238 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- LEAL, P.; MOSCHINI-CARLOS, V.; LÓPEZ-DOVAL, J. C.; CINTRA, J. P.; YAMAMOTO, J. K.; BITENCOURT, M. D.; SANTOS, R. F.; ABREU, G. C.; POMPÊO, M. Impact of copper sulfate application at an urban Brazilian reservoir: A geostatistical and ecotoxicological approach. **Science of The Total Environment**, v. 618, p. 621-634, 2018.
- MENEZES, L. C. B. M.; GARGIULO, J. R. B. C.; MONTERIO-JÚNIOR, A. J. Qualidade da água em locais de pesca artesanal no complexo Billings, São Paulo. **Bioikos**, v. 30, n. 1, 2016. Disponível em: <https://seer.sis.puc-campinas.edu.br/seer/index.php/bioikos/article/view/3338>. Acesso em: ago. 2019.
- MERRITT, R. W.; CUMMINS, K. W. (ed.). **An introduction to the aquatic insects of North America**. Iowa: Kendall/Hunt Publishing, 1995.
- MINTE-VERA, C. V. **A pesca artesanal no reservatório Billings (São Paulo)**. 1997. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Cadastro nacional de unidades de conservação**. Brasília, MMA, 2018. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs>. Acesso em: 23 jul. 2018.

PENTEADO, C. L. C.; ALMEIDA, D. L.; BENASSI, R. F. Conflitos hídricos na gestão dos reservatórios Billings e Barra Bonita. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890023>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142017000100299&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142017000100299&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: mai. 2018.

PETRETERE JUNIOR, M.; WALTER, T.; MINTE-VERA, C. V. Income evaluation of small - scale fishers in two Brazilian urban reservoirs: represa Billings (SP) and lago Paranoá (DF). **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, n. 3, p. 817-828, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842006000500007>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-69842006000500007&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842006000500007&lng=en&tlng=en). Acesso em: fev. 2019.

RANZANI DE PAIVA, F.; CASTRO, P. M. G.; MARUYAMA, L. S. Pesca artesanal na Represa Billings, Estado de São Paulo: uma arqueologia da existência. In: SEMINÁRIO DE GESTÃO SOCIOAMBIENTAL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AQUICULTURA E DA PESCA NO BRASIL, 2., Rio de Janeiro, 2006. Anais [...]. Rio de Janeiro, 2006. p.1-6.

ROCHA, A. A.; PEREIRA, D. N.; PÁDUA, H. B. Fishing yield and chemical contamination of the water the Billings Reservoir, S. Paulo (Brazil). **Revista de Saúde Pública**, v. 19, n. 5, 1985. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89101985000500003>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-89101985000500003&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89101985000500003&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: jun. 2019.

ROCHA, A. A. **A ecologia e os aspectos sanitários e a saúde pública da represa Billings**: uma contribuição a sua recuperação. 1984. 166 f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

ROCHUMBACK, VANDERLEA. (Mestre fluvial e presidente da comunidade de pescadores Z17 “Orlando Feliciano”). **Informações passadas diretamente ao autor**. 2018.

ROCHUMBACK, VANDERLEA. **Mais de duzentas mulheres vivem da pesca na represa Billings**. Matéria exibida no programa Globo Cidade, de 10 mar. 2018. Disponível em: [https://globoplay.globo.com/v/6567859/?utm\\_source=whatsapp&utm\\_medium=share-bar](https://globoplay.globo.com/v/6567859/?utm_source=whatsapp&utm_medium=share-bar). Acesso em: mai. 2019.

ROCHUMBACK, VANDERLEA. Matéria exibida na Rede TVT, em 07 mar. 2018. Disponível em: [https://m.facebook.com/story.php?story\\_fbid=1863784897024913&id=131520310251389](https://m.facebook.com/story.php?story_fbid=1863784897024913&id=131520310251389). Acesso em: mai.2019.

RODRIGUES, L. R.; RODRIGUES SANT'ANNA, C. L.; TUCCI C. L. Chlorophyceae das Represas Billings (Braço Taquacetuba) e Guarapiranga, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 247-264, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042010000200006>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-84042010000200006&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-84042010000200006&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt). Acesso em: fev. 2019.

SÃO PAULO (Estado). **Duas novas áreas de conservação são criadas na Billings**. São Paulo: Governo do Estado, 2018. Disponível em: <http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/unidades-conservacao-criadas-billings/>. Acesso em: jul. 2018.

SPERLING, V. E. Etimologia aquática. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 2, p. 73-81, 2005. DOI: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v10n2.p73-81>. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=28&SUMARIO=457>. Acesso em: mai. 2019.

TERRAS INDÍGENAS NO BRASIL. **Terra Indígena Barragem**. [s.l.]: ISA, 2018 b. Disponível em: <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3616>. Acesso em: jul. 2018.

TERRAS INDÍGENAS NO BRASIL. **Terra Indígena Guarani do Krukutu**. [s.l.]: ISA, 2018c. Disponível em: <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3677>. Acesso em: jul. 2018.

TERRAS INDÍGENAS NO BRASIL. **Terra Indígena Tenondé Porã**. [s.l.]: ISA, 2018a. Disponível em: <https://terrasindigenas.org.br/en/terras-indigenas/5248>. Acesso em: jul. 2018.

TUTUI, S. L. S.; TOMÁS, A. R. G.; CASTRO, P. M. G. (2013). Avaliação da situação das populações de peixes consideradas ameaçadas de extinção por meio de consulta ao setor produtivo pesqueiro do Estado de São Paulo. **Sér. Relat. Téc.**, São Paulo, n. 51, p. 1-48, nov. 2013. Disponível em: [http://www.pesca.sp.gov.br/serreltec\\_51.pdf](http://www.pesca.sp.gov.br/serreltec_51.pdf). Acesso em: abr. 2015.

# CAPÍTULO 7

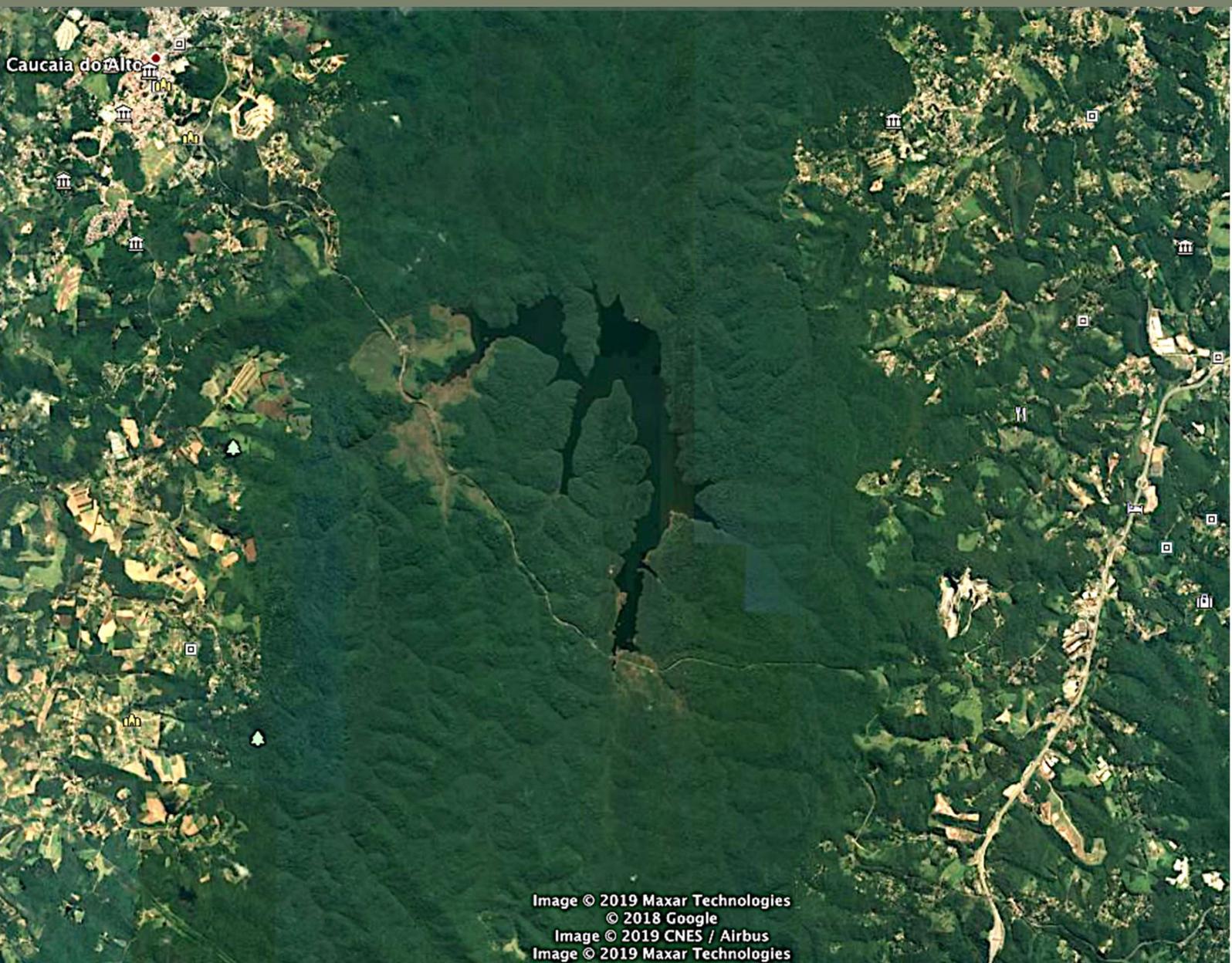


Image © 2019 Maxar Technologies  
© 2018 Google  
Image © 2019 CNES / Airbus  
Image © 2019 Maxar Technologies

# O RESERVATÓRIO PEDRO BEICHT

Eduardo H. Costa Rodrigues<sup>1</sup>

Sheila Cardoso Silva<sup>2</sup>

1 - Universidade Ceuma, Departamento de Engenharia Ambiental, Curso de Engenharia Ambiental, Campus Renascença

2 - Professora Visitante do Programa de Pós Graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais, Universidade Federal do Acre

## O reservatório Pedro Beicht: um breve histórico

A escassez hídrica verificada entre os anos de 2013 e 2015 mostrou que as grandes metrópoles da região sudeste do país estão vulneráveis à falta de água, entre as localidades mais afetadas esteve a Região Metropolitana de São Paulo (CARMO; MENDES, 2017) expondo assim a fragilidade do sistema de abastecimento público de água da região. No ano de 2013 os índices pluviométricos foram muito baixos na região Sudeste, e diminuíram mais ainda durante o verão de 2014-2015 (CARMO; ANAZAWA, 2017). A estiagem prolongada e atípica implicou em problemas entre os diferentes usuários da água. Embora pareçam atuais, os desafios para o abastecimento de água da cidade de São Paulo e região metropolitana não são tão recentes, e figuram desde o final do século XVIII e início do século XIX. Ofertar água para uma população e economia crescentes já se tornava um sério problema naquela época.

Até o final do século XIX, São Paulo era um pacato vilarejo no planalto da Serra do Mar com uma população de 50 mil habitantes em 1875 (JACOBI *et al.*, 2015). Entre os anos de 1874 e 1900, o município de São Paulo teve sua população aproximadamente multiplicada por 10, e entre os anos de 1874 e 1940, por 57 (SILVA, 2014). Em 1941, a cidade então com uma população superior de 1,3 milhão de habitantes, recebia água de cinco sistemas de abastecimento, num total de quase 470 milhões de litros por dia (JACOBI *et al.*, *op. cit.*). Esse crescente aumento da população não foi acompanhado pela disponibilidade de água e um desequilíbrio entre oferta e demanda já era observado no início do século XX. Nesse mesmo período, segundo esses autores, e após a crise da economia cafeeira, a indústria ocupava um papel de destaque nesse crescimento.

Para o abastecimento de água sem déficits, novos desafios se impunham em relação à quantidade e à qualidade de águas ofertadas à população da cidade de São Paulo no final do século XIX (SILVA, 2014) e início do XX. As necessidades de expansão de oferta de água para o abastecimento público previstas desde o final da década de 1890, implicariam, porém, em uma tomada de decisão para todo o sistema de abastecimento (SILVA, *op. cit.*) e envolveriam a prática de adução de água de mananciais não urbanizados (Início do Sistema produtor Rio Claro), ou optar por um sistema misto, com adução de águas baixas tratadas (do Rio Tietê e seus afluentes incluindo aí o rio Cotia). O objetivo era aduzir água de mananciais não urbanizados, primando pela qualidade da água a ser distribuída à população. O que implicava na busca de novas fontes de abastecimento e construção de novas represas. Além da crescente demanda por água, o que já resultava em uma certa deficiência no abastecimento público de água à época, eventos como a grande seca de 1910 levou a então Repartição de Águas e Esgotos – RAE, a reconhecer um déficit no abastecimento de água de 43%, chegando a 56% com a seca de 1924 (JACOBI *et al.*, 2015). Ainda no ano de 1910, os problemas de seca no planalto paulista e a poluição do rio Tietê levaram à decisão de se utilizar as águas da bacia do rio Cotia (METZGER *et al.*, 2006). As obras do Sistema Cotia contemplaram duas fases a primeira, iniciada em 1914 e a segunda iniciada em 1920 (SILVA, *op. cit.*).

O Sistema Produtor Alto Cotia é formado pelos subsistemas Alto e o Baixo Cotia, do qual a represa Pedro Beicht e Cachoeira da Graça (Alto Cotia) fazem parte, além da represa Isolina (Baixo Cotia). Esse sistema está inserido na bacia hidrográfica do rio Cotia, no Município de Cotia (Almeida *et al.*, 2014), é composto por uma estação de tratamento de água - ETA e laboratórios de controle (METZGER *et al.*, 2006). A represa Pedro Beicht, teve sua construção iniciada em 1927 com a finalidade exclusiva de abastecimento para a região oeste da RMSP (Região Metropolitana de São Paulo), tendo sido projetada para regularizar a vazão do Rio Cotia com sua descarga dirigida para a barragem da Cachoeira da Graça em 0,93 m<sup>3</sup>/s (SOARES, 2003). A represa Pedro Beicht apresenta como principais afluentes os rios Claro e Guaratuba (NASCIMENTO, 2003a). Aliada à construção da Barragem “Cachoeira da Graça” (1914-1917) e posteriormente, a montante, da barragem “Pedro Beicht” (1927-1933), houve a desapropriação de antigas fazendas situadas na bacia de captação (METZGER *et al.*, 2006) essa ação visava a proteção dos mananciais frente a expansão urbana pela qual a cidade passava no final do século XIX. Com essa medida, as antigas áreas destinadas às atividades de agricultura e pecuária foram interrompidas o que permitiu a regeneração dessas áreas. Atualmente esta área é composta pela Reserva Florestal Morro Grande (RFMG) (abordada em mais detalhes adiante).

O manancial Alto Cotia apresenta excelente qualidade de água, captada do reservatório Pedro Beicht (Figura 7.1) e protegida pela RFMG, com aproximadamente 10 mil hectares de Mata Atlântica (ALMEIDA *et al.*, 2014; NASCIMENTO, 2003). Este sistema é considerado um dos ambientes-referências para o abastecimento da RMSP e exemplo de conservação ambiental

(ALMEIDA; BICUDO, 2014). Parte dessa preservação se deve à RFMG, a qual funciona como um filtro, barrando a entrada de nutrientes no reservatório (NASCIMENTO, 2003).



Figura 7.1 - Vistas gerais do lago do reservatório Pedro Beicht  
Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

### A Reserva Florestal Morro Grande

A RFMG é um dos maiores remanescentes florestais do Planalto Atlântico. Abrange uma área de aproximadamente 10.870 ha, e está localizada no município de Cotia (NEGRÃO; VALLADARES-PÁDUA, 2006; METZGER *et al.*, 2006). Está situada em uma zona de transição entre clima tropical e subtropical, com precipitação média anual entre 1500-2000 mm (GIANESELLA-GALVÃO; ARCIFA, 1988). Foi criada através da Lei Estadual nº. 1.949 de 04 de abril de 1979, com a destinação específica de preservação da flora e da fauna e proteção aos mananciais (METZGER *et al.*, *op. cit.*). Abrange o Sistema Produtor do Alto-Cotia, gerenciado pela SABESP, composto essencialmente por duas barragens (Pedro Beicht e Cachoeira da Graça) (METZGER *et al.*, *op. cit.*), sendo criada a partir da desapropriação de terras com atividade agropastoril. Foi tombada pela Secretaria da Cultura do Governo do Estado de São Paulo em 1981, e incorporada à Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo em 1994 (METZGER *et al.*, *op. cit.*). A RFMG é administrada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), por incorporar os mananciais que abastecem o Sistema Produtor Alto Cotia, as Represas Pedro Beicht e Cachoeira da Graça, responsáveis pelo abastecimento de cerca de 400 mil habitantes da RMSP (THOMAZIELLO, 2016).

Pouco se sabe sobre a intensidade e a duração das perturbações antrópicas que ocorreram na região antes desta data (ALVES; METZGER *et al.*, 2006). Apesar de sua proximidade com grandes centros urbanos e de todos os impactos que vem recebendo, ainda mantém uma flora e fauna muito rica, incluindo diversas espécies endêmicas da Mata Atlântica e/ou ameaçadas de extinção (METZGER *et al.*, 2006), no entanto, o alto grau de perturbação e do comprometimento da qualidade da RFMG, impede a capacidade de preservar a integridade da fauna de maior porte (NEGRÃO; VALLADARES-PÁDUA, 2006).

Os limites da RFMG coincidem com os da bacia do rio Cotia no seu trecho superior, dentro da bacia do Alto-Tietê (METZGER *et al.*, 2006). A cobertura florestal é composta predominantemente por Floresta Ombrófila Densa Montana, com contribuições da Floresta Estacional Semidecidual e das florestas mistas com Araucária, todas pertencentes ao Domínio da Mata Atlântica (NEGRÃO; VALLADARES-PÁDUA, 2006; METZGER *et al.*, 2006; METZGER *et al.*, *op. cit.*; VELOSO *et al.*, 1991).

### Características do reservatório e a produção de água

O reservatório Pedro Beicht está localizado nas cabeceiras do rio Cotia, no município de Cotia, São Paulo, a aproximadamente 10 km do povoado denominado Morro Grande (RODRIGUES, 1994), município que nomeia a reserva florestal que circunda o lago. É um reservatório que possui dimensões discretas (Tabela 7.1) e em termos de área é menor que o Broa (6,8 km<sup>2</sup>), o Rio Grande

(7,4 km<sup>2</sup>) e o Paiva Castro (5,1 km<sup>2</sup>), além de ser considerado um lago raso. Desde a sua concepção até o presente momento manteve-se como um corpo hídrico com características mesotróficas (RODRIGUES, 1994). Dados de Rodrigues et al. (no prelo) ainda não publicados, caracterizaram a zona da barragem do reservatório PB como oligotrófica. Em função da área de preservação onde o reservatório está inserido, com uma área de remanescente de vegetação natural de 9.870 ha, isto representa 93% da área vegetada do reservatório. Por se tratar de represa com baixa profundidade e com boa penetração de luz (ALMEIDA; BICUDO, 2014) apresenta boa diversidade de diatomáceas, inclusive com descoberta de novas espécies e ocorrências para o Estado de São Paulo (ALMEIDA *et al.*, 2016). O relevo é caracterizado por apresentar morros com serras restritas, a altitude varia entre 900 e 1000 metros, com declividade em torno de 20% (RODRIGUES, 1994). O baixo Cotia, depois das represas, após a cachoeira das Graças, segue por um sistema meândrico, característico das menores declividades de sua bacia sedimentar, formando grandes banhados (SAVIOLI, 2008).

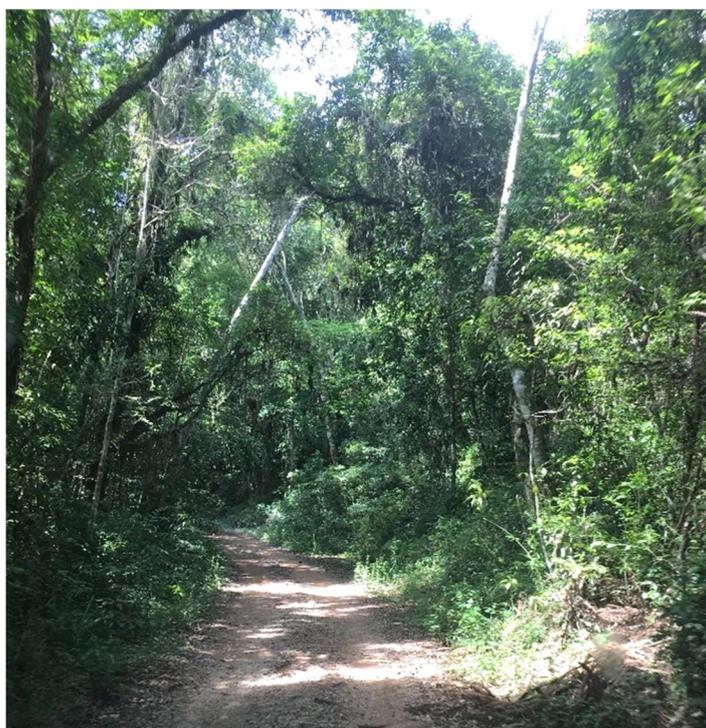


Figura 7.2 - Trecho da estrada que corta a reserva Florestal do Morro Grande (RFMG) e leva ao lago do reservatório Pedro Beicht

Segundo Ferreira *et al.* (2011), o rio Cotia possui 50 km de extensão e possui três reservatórios ao longo de sua extensão: “Pedro Beicht” e “Cachoeira das Graças” ou apenas “das Graças”, que fornecem água para o Sistema Produtor “Alto Cotia”, e o reservatório “Isolina” que faz o mesmo para o Sistema Baixo Cotia. O Sistema Produtor Alto Cotia - SPAC está localizado a aproximadamente 37 km do centro, no sentido oeste (SILVA, 2014), os sistemas possuem duas estações de tratamento de água (ETA), a ETA Morro Grande, referente ao sistema do Alto Cotia produz uma vazão de aproximadamente 1,2 m<sup>3</sup>/s de água tratada, enquanto a ETA Sistema Baixo Cotia, Sistema Baixo Cotia produz aproximadamente 0,9 m<sup>3</sup>/s de água. A estação de tratamento de água “Alto Cotia” está localizada na região superior da bacia hidrográfica e foi construída entre 1916 e 1933. (FERREIRA *et al.*, 2011). De acordo com a Cetesb; DAE (1980) a área drenada pelo rio ao limite do reservatório Cachoeira da Graça é designada de Alto Cotia, e deste reservatório até a confluência com o rio Tietê denominado de Baixo Cotia. Este sistema fornece água para cerca de 400-500 mil pessoas (METZGER *et al.*, 2006) de Cotia, Embu, Itapeceira da Serra, Embu-Guaçu e Vargem Grande (FERREIRA *et al.*, *op. cit.*).

Apesar da grande relevância do Sistema Produtor Alto Cotia, dados referentes aos aspectos ecológicos e/ou técnicos dos seus reservatórios (Tabela 7.2) são bastante escassos. Os poucos trabalhos a respeito do reservatório remontam há algumas décadas. Poucos são os trabalhos com

menos de uma década de publicados (COSTA *et al.*, 2017; BICUDO *et al.*, 2016; ROSA; OLIVEIRA; SAAD, 2014; SILVA, 2014; LUZ; UMMUS, 2009). O restante são trabalhos resultantes de conclusão de cursos, como, por exemplo, teses (THOMAZIELLO, 2016; NASCIMENTO, 2003; RODRIGUES, 1994) e dissertações (DAVILA, 2016; SILVA, 2012; OLIVEIRA, 2011; NASCIMENTO, 2003, SOARES, 2003). A ausência de dados mais atuais sobre esse sistema produtor, explicita uma lacuna no estudo desta região. As poucas informações disponíveis sobre o reservatório Pedro Beicht apontam para um ambiente bem preservado, se comparado a outros reservatórios na mesma região, a exemplo do Guarapiranga e Billings. Isto caracteriza este ambiente com potencial para servir de ambiente controle ou de referência para estudos de monitoramento em reservatórios, em função do excelente grau de conservação em que se encontra. Outro ponto a se observar é a ocorrência de algumas divergências observadas quanto aos dados do reservatório, aparentemente há uma troca nas datas do início da construção do Sistema Alto Cotia, iniciado com a construção do reservatório Cachoeira da Graça, com a data de início das obras do reservatório Pedro Beicht, que teve sua construção iniciada na década de 1920, quase uma década após o início das obras do sistema todo. Além de abastecer o município de Cotia, o sistema também atende parte dos municípios de Embu, Itapeperica da Serra, Embu-Guaçu e Vargem Grande Paulista (COSTA, 2014).

Tabela 7.1 - Características hidrológicas do reservatório Pedro Beicht  
Fonte: Arcifa *et al.* (1981)

Parâmetro	Pedro Beicht
Volume ( $10^6 \text{ m}^3$ )	14,8
Area ( $\text{km}^2$ )	3,38
Profundidade máxima (m)	12,5
Profundidade média (m)	4,3
Tempo de retenção (dias)	145
Altura da barragem (m)	23
Média da Vazão anual ( $10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ )	37,5
Altitude (m)	921
Área de drenagem (ha)	10544

O reservatório Pedro Beicht (PB) foi previamente estudado por Almeida; Bicudo (2014); Sendacz *et al.* (2006); Metzger *et al.* (2006) e Lucinda *et al.* (2004) entre outros (Tabela 7.2). Foram estudadas e analisadas características limnológicas do local (produtividade primária, variação do fitoplâncton e zooplâncton, microalgas bentônicas em sedimentos e características físicas e químicas da água). Alguns trabalhos conduzidos no reservatório PB são referentes ao estudo da biodiversidade e ecologia de diatomáceas planctônicas ou em sedimentos superficiais (Tabela 7.2). Outros trabalhos avaliaram a ictiofauna, rotíferos no zooplâncton, a concentração de metais em sedimento e a qualidade da água. Todos os trabalhos relacionaram o reservatório Pedro Beicht a um ambiente com baixos índices de perturbação e isso faz com que os mananciais do Sistema Alto Cotia sejam considerados como classe especial (JACOBI *et al.*, 2015). Em função disto, o sedimento deste reservatório é comumente utilizado como sedimento controle (controle negativo livre de contaminantes) em análises de monitoramento realizadas pela CETESB e em alguns trabalhos acadêmicos (NASCIMENTO, 2003).

Trabalho em fase de redação de Cardoso-Silva *et al.* (no prelo) discutem questões referentes às condições de referência e utiliza como modelo de estudo o reservatório Pedro Beicht. Os autores adotaram uma abordagem paleolimnológica utilizando como indicadores os teores de metais (Al, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, Zn) além de fósforo total e não observaram variações significativas ao longo do tempo corroborando. Os autores aplicaram um índice chamado de Fator de Enriquecimento (SUTHERLAND, 2000) para corroborar a ausência de impactos antrópicos consideráveis na região para metais. O Fator de Enriquecimento pode identificar se existe processo de enriquecimento de metais e sugerir se a fonte para estes elementos é antrópica ou natural (DEVASA-REY *et al.*, 2011). O índice que varia entre valores menores que 2 e maiores que 40 indicou que o enriquecimento médio para todos os metais analisados foi considerado ausente ou muito baixo (Tabela 7.3). O mesmo trabalho investigou também índices de qualidade ecológica para a comunidade fitoplanctônica no intuito de estabelecer o bom estado ecológico da área e observaram.

Tabela 7.2 - Elementos da biodiversidade estudados no reservatório Pedro Beicht

Autores	Plâncton (fito/zoo)	Perifiton	Ictiofauna	Sedimento	Limnologia	Diatomáceas <sup>1</sup>
Castro; Arcifa (1987)			x			
Almeida; Bicudo (2014)	x					x
Almeida <i>et al.</i> (2015)						x
Almeida <i>et al.</i> (2016)	x	x				x
Bicudo <i>et al.</i> (2016)					X	x
Costa <i>et al.</i> (2017)	x					
Davila (2016)	x					x
Gianesella-Galvão (1985)	x					
Lucinda <i>et al.</i> (2004)		x				
Gianesella-Galvão; Arcifa (1988)					X	
Nascimento (2003) <sup>2</sup>				x		
Nascimento (2003) <sup>2</sup>				x		
Soares (2003) <sup>2</sup>				x	X	
Oliveira (2011)				x		
Silva; Matsumura-Tundisi (2011)	x					

1: Presente no sedimento superficial; 2: Teses e Dissertações

Tabela 7.3 - Fator de Enriquecimento (Fr) médio para metais ao longo de um perfil sedimentar coletado na área da barragem do reservatório Pedro Beicht

Metal	Fr Médio	Desvio padrão
Al	1.13	0.00
Ba	1.18	0.03
Ca	0.94	0.16
Co	1.16	0.13
Cr	1.22	0.03
Cu	0.83	0.56
Fe	1.13	0.02
K	1.09	0.08
Mg	1.13	0.06
Mn	0.81	0.05
Mo	1.66	0.07
Ni	1.36	0.18
Pb	1.11	0.13
Sr	1.05	0.05
Zn	1.17	0.10

Ausente/muito baixo <2	Moderado 2≤FE<5	Considerável 5≤FE<20	Alto 20≤FE<40	Muito alto >40
---------------------------	--------------------	-------------------------	------------------	-------------------

Um trabalho elaborado por Gianesella-Galvão; Arcifa (1988), do final da década de 1980, concluiu que o reservatório Pedro Beicht é caracterizado como ambiente de pouca profundidade apresentando considerável vegetação circundante, baixos valores de alcalinidade, condutividade e pH; este cenário permanece até os dias de hoje segundo dados de Rodrigues *et al.* (no prelo) ainda não publicados. Além disso, este reservatório apresenta valores de produtividade primária compatíveis com ambientes mesotróficos (GIANESELLA-GALVÃO, 1985); e é considerado um lago polimítico (ARCIFA *et al.*, 1981). A vegetação circundante até os dias atuais se mantém preservada, no entanto, são observadas algumas atividades no interior da reserva. A população das áreas adjacentes à reserva utiliza alguns pontos no lago para a prática de pesca esportiva e recreação. De acordo com o decreto Lei nº 16568/17 (SÃO PAULO, 2017) o reservatório Pedro Beicht tem como meta anual de qualidade atender padrões de qualidade de corpos Classe I, o que permite entre outras atividades, a recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, mas não permite a atividade de pesca mesmo que esportiva (BRASIL, 2005). Em função do seu porte (altura e volume) a barragem pode ser considerada de porte médio e de alto potencial de risco (possibilidade de perda de vidas humanas e prejuízo econômicos elevados) (RODRIGUES, 1994).

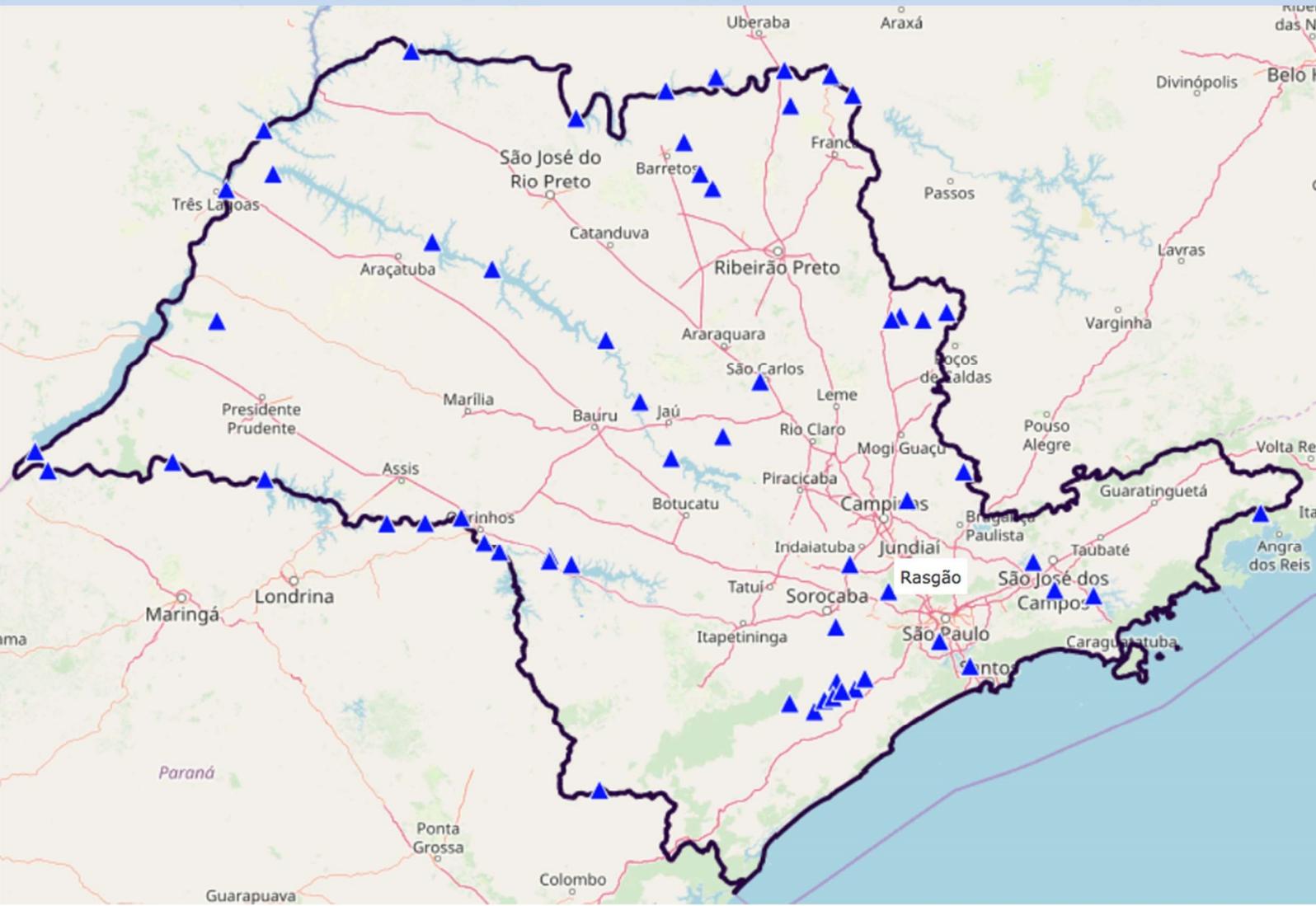
Atualmente, o Sistema Integrado de Abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é constituído por oito Sistemas Produtores distribuídos pela RMSP; contando com oito ETA's (estação de tratamento de água) que são responsáveis pela produção em média de 65 m<sup>3</sup>/s de água (JANUÁRIO; FERREIRA-FILHO, 2007). A região oeste da RMSP é abastecida pelos Sistema Produtor Alto e Baixo Cotia, formado pelo represamento do rio Cotia.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. D.; WETZEL, C. E.; MORALES, E. A.; ECTOR, L.; BICUDO, D. C. *Staurosirella acidophila* sp. nov., a new araphid diatom (Bacillariophyta) from Southeastern Brazil: ultrastructure, distribution and autecology. **Cryptogamie, Algologie**, v. 36, n. 3, p. 255-270, 2015.
- ALMEIDA, P. D.; MORALES, D. A.; WETZEL, C. E.; ECTOR, L. BICUDO, D. C. Two new diatoms in the genus *Fragilaria* lyngbye (Fragilariophyceae) from tropical reservoirs in Brazil and comparison with type material of *F. tenera*. **Phytotaxa**, v. 246, n. 3, p. 163-183, 2016.
- ALMEIDA, P. D.; BICUDO, D. C. Diatomáceas planctônicas e de sedimento superficial em represas de abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo, SP, Sudeste do Brasil. **Hoehnea**, v. 41, n. 2, p. 187-207, 2014.
- ARCIFA, M. S.; FROEHLICH, C. G.; GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F. Circulation patterns and their influence on physicochemical and biological conditions in eight reservoirs in Southern Brazil. **Verh. Int. Ver. Limnol.**, v. 21, n. 2, p. 1054-1059, 1981.
- ARCIFA, M. S.; CARVALHO, M. A. J.; GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F.; SHIMIZU, G. Y.; FROEHLICH, C. G.; CASTRO, R. M. C. Limnology of ten reservoirs in Southern Brazil. **Verh. Int. Ver. Limnol.**, v. 21, n. 2, p. 1048-1053, 1981.
- ALVES, L. F.; METZGER, J. P. A regeneração florestal em áreas de floresta secundária na Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia, SP. **Biota Neotrop.**, v. 6, n. 2, 2006.
- BICUDO, D. C.; TREMARIN, P. I.; ALMEIDA, P. D.; ZORZAL-ALMEIDA, S.; WENGRAT, S.; FAUSTINO, S. B.; COSTA, L. F.; BARTOZEK, E. C. R.; ROCHA, A. C. R.; BICUDO, C. E. M.; MORALES, E. M. Ecology and distribution of *Aulacoseira* species (Bacillariophyta) in tropical reservoirs from Brazil. **Diatom Research**, v. 31, n 3, p. 199-215, 2016.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília (DF), n. 53, 18 mar. 2005, p. 58-63.
- CARMO, R. L.; ANAZAWA, T. M. Hidromegalópole São Paulo-Rio de Janeiro: escassez hídrica, sobreposição de espacialidades e conflitos. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, v. 17, p. 61-68, 2017.
- CASTRO, R. M. C.; ARCIFA, M. S. Comunidades de peixes de reservatórios no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 47, n. 4, p. 493-500, 1987.
- COSTA, L. F.; WETZEL, C. T.; ECTOR, L.; WILLIAMS, D. M.; BICUDO, D. C. *Eunotia enigmatica* sp. nov., a new planktonic diatom from Brazil and the transfer of *Fragilaria braunii* Hustedt to the genus *Peronia* (Bacillariophyceae). **Fottea**, Olomouc, v. 17, n. 1, p. 103-113, 2017.
- COSTA, E. S. **Alteração do ponto de alimentação da rede objetivando a redução de perdas**: estudo de caso. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.
- DAVILA, J. P. M. **Taxonomia e distribuição do gênero *Navicula* 'sensu stricto' (Bacillariophyceae) em reservatórios da bacia do Alto Tietê e de bacias vizinhas**. 2016. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2016.
- FERREIRA, P. J. G.; BONILLA, S. H.; FRUGOLI, A. D.; FERREIRA, V. G.; ALMEIDA, C. M. V. B.; GIANNETTI, B. G. Environmental sustainability in water treatment systems. *In*: ANNUAL CONFERENCE AND EXPO OF THE INSTITUTE OF INDUSTRIAL ENGINEERS, 61., 2011, Reno. **Proceedings** [...]. Reno: IIE, 2011. p. 1-8.
- GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F. Primary production in ten reservoirs in southern Brazil. **Hydrobiologia**, v. 122, p. 81-88, 1985.
- GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F.; ARCIFA, M. S. The ionic composition of ten reservoirs in southern Brazil. **Rev. Hydrobiol. Trop.**, v. 21, n. 2, p. 93-99, 1988.
- JACOBI, P. R.; FRACALANZA, A. P.; SILVA-SÁNCHEZ, S. Governança da água e inovação na política de recuperação de recursos hídricos na cidade de São Paulo. **Cad. Metrop.**, v. 17, n. 33, p. 61-81, 2015.

- LUCINDA, I.; MORENO, I. H.; MELÃO, M. G. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Rotifers in freshwater habitats in the upper Tietê River Basin, São Paulo State, Brazil. **Acta Limnol. Bras.**, v. 16, n. 3, p. 203-224, 2004.
- LUZ, A. R.; UMMUS, M. E. Relevô, hidrografia e solos da reserva florestal do Morro Grande (Sistema Alto Cotia) e evoluçôo geomorfológica do planalto Ibiúna. **Revista DAE**, n. 181, 2009.
- METZGER, J. P.; ALVES, L. F.; GOULART, W.; TEIXEIRA, A. M. G.; SIMÕES, S. J. C.; CATHARINO, E. L. M. Uma ária de relevante interesse biológico, porém pouco conhecida: a Reserva Florestal do Morro Grande. **Biota Neotropica**, v.6, n. 2, p. 1-33, 2006.
- METZGER, J. P.; ALVES, L. F.; PARDINI, R.; DIXO, M.; NOGUEIRA, A. A.; NEGRÃO, M. F. F.; MARTENSEN, A. C.; CATHARINO, E. L. M. Características ecológicas e implicaçôes para a conservaçôo da Reserva Florestal do Morro Grande. **Biota Neotropica**, v. 6, n. 2, 2006.
- NASCIMENTO, A. P. C. **Comparaçôo metodológica de testes de toxicidades com *Hyalella azteca* (Crustacea, Amphipoda) e a avaliaçôo da qualidade do sedimento em represas do rio Tietê (SP)**. 2003. Dissertaçôo (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003b.
- NASCIMENTO, M. R. L. **Proposiçôo de valores de referências para concentraçôo de metais e metaloides em sedimentos límnicos e fluviais da bacia hidrográfrica do rio Tietê, SP**. 2003. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003a.
- NEGRÃO, M. F.; VALLADARES-PÁDUA, C. Registro de mamíferos de maior porte na Reserva Florestal do Morro Grande, São Paulo. **Biota Neotropica**, v. 6, n. 2, p. 1-7, 2006.
- OLIVEIRA, C. E. S. **Avaliaçôo da composiçôo isotópica do chumbo e da distribuçôo elementar nos sedimentos da represa Pedro Beicht, Cotia, São Paulo**. 2011. Dissertaçôo (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- RODRIGUES, E. P. **Parâmetros texturais de deformaçôo em granitoides e sua relaçôo com a reaçôo alcali-agregado: aplicaçôo ao concreto da Barragem de Pedro Beicht, SP**. 1994. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
- ROSA, C. A. S.; OLIVEIRA, A. M. S.; SAAD, A. R. A expansôo urbana e o IQA como ferramentas de avaliaçôes e análises da evoluçôo da qualidade das águas do rio Cotia, regiôo metropolitana de São Paulo, Brasil. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p. 114-123, 2014.
- SAVIOLI, M. L. A cidade e a estrada: as transformaçôes urbanas do município de cotia ao longo da rodovia Raposo Tavares. **Pós**, n. 22, p. 106-121, 2008.
- SÃO PAULO. **Lei nº 16.568, de 10 de novembro de 2017**. Dispõe sobre a ária de proteçôo e recuperaçôo dos mananciais do Alto Cotia - APRM-AC, suas árias de intervençôo, respectivas diretrizes e normas ambientais e urbanísticas de interesse regional para a proteçôo e recuperaçôo dos mananciais. São Paulo: Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, 2017.
- SILVA, R. T. Água e saneamento da metrópole: a atualidade dos desafios passados. **Revista DAE**, v. 62, n. 196, ed. esp., p. 7-19, 2014.
- SILVA, P. D. A. **Biodiversidade e distribuçôo das diatomáceas planctônicas e de sedimento superficial nas represas de abastecimento do Sistema Alto Cotia (SP)**. 2012. Dissertaçôo (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) - Instituto de Botânica de São Paulo, São Paulo, 2012.
- SILVA, W. M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Checklist dos Copepoda Cyclopoida de vida livre de água doce do Estado de São Paulo, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, p. 559-569, 2011.
- SOARES, A. **Qualidade da água e fluxo de nutrientes na interface sedimento-água nas represas do rio Tietê**. 2003. Dissertaçôo (Mestrado em Química Analítica) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.
- THOMAZIELLO, S. A. **Sustentabilidade ambiental e serviçôos ecossistêmicos: uma estratégia para avaliar zonas de amortecimento de paisagens protegidas: o caso da Reserva Florestal do Morro Grande/SP**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

# CAPÍTULO 8



<http://portalgo.seade.gov.br/>

# LIMNOLOGIA DA PAISAGEM: FRAGILIDADE POTENCIAL DE BACIAS DE CAPTAÇÃO DE RESERVATÓRIOS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Marisa Dantas Bitencourt<sup>1</sup>

Vinicius Kumazawa<sup>1</sup>

Iris Amati Martins<sup>1</sup>

Marcelo Pompêo<sup>2</sup>

1 - *LEPAC* - Laboratório de Ecologia da Paisagem e Conservação: Sensoriamento Remoto

2 - *LabLimno* – Laboratório de Limnologia

Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo

## Introdução

Com o crescimento humano ocorre o aumento da demanda por espaços e recursos, o que leva a uma rápida mudança da cobertura e do uso do solo, associada às pressões nos ambientes aquáticos (ASANTE *et al.*, 2008; CATHERINE *et al.*, 2013). Sendo assim, o crescimento populacional gera respostas contraditórias, já que há um aumento da necessidade de aquisição de água de boa qualidade para o consumo humano, para atividades econômicas e desenvolvimento, assim como leva ao aumento de atividades que geram impactos negativos nos corpos hídricos, tais como despejo indiscriminado de resíduos líquidos e sólidos *in natura* - domésticos e industriais, uso e ocupação impróprios, práticas inadequadas de agricultura, degradação ambiental e destruição da mata ciliar (ASANTE *et al.*, 2008; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

Ambientes aquáticos são extremamente vulneráveis aos impactos provocados pelas atividades humanas, as quais levam à diminuição da resiliência do sistema. O mesmo pode ser observado para os reservatórios, que são criados pelo represamento de um rio, formando um sistema cuja hidrodinâmica é intermediária entre o lótico e o lântico. Trata-se de ecossistemas modificados e complexos, construídos em resposta às demandas de crescimento econômico. Todo corpo d'água sofre influências diversas de sua bacia de captação, muitas vezes altamente antropizada, e em diferentes níveis de impactos (GIBSON *et al.*, 2000; DODDS *et al.*, 2006). Descarga de sedimentos finos (argila, principalmente) por exemplo, causam efeitos negativos na biota aquática, já que há aumento do material particulado, redução da penetração de luminosidade e aumento da turbidez da água, reduzindo a produção primária, aumento da concentração de nutrientes, como nitrogênio e fósforo e a proliferação de algumas espécies fitoplanctônicas (DAVIES-COLLEU *et al.*, 1992; ESTEVES, 2011; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011), podendo levar à eutrofização, problema central de gestão e manejo em da qualidade da água de reservatórios (POMPÊO, 2017; LEAL *et al.*, 2019).

A cobertura e uso do solo influenciam o escoamento superficial que resulta das precipitações. A água que chega ao solo, parte dela se infiltra, parte é retirada pelas depressões do terreno, sendo acumulada, e parte escoada pela superfície. Este processo depende do tipo de dissecação e do solo. A taxa de escoamento superficial é fortemente aumentada pela impermeabilização do solo causada pela urbanização e amplifica a capacidade de arraste de nutrientes, gerando maiores cargas poluidoras. A associação deste potencial poluidor com a alta taxa de escoamento superficial gera cargas poluidoras difusas de grande magnitude, de origens bastante diversificadas que são lançadas nos sistemas de drenagem gerando preocupações crescentes no contexto do controle da poluição e da proteção dos recursos hídricos. Estas cargas podem ser devidas a ligações clandestinas de esgotos, efluentes de fossas sépticas, abrasão e desgaste das ruas pelos veículos, o lixo acumulado nas ruas e calçadas, os resíduos orgânicos de pássaros e animais domésticos, atividades de construção, resíduos de combustível, óleos e graxas deixados por veículos, entre outros (PORTO, 1998; PAZ *et al.*, 2003).

Há aproximadamente 20 anos ecólogos da paisagem buscam incorporar os princípios da ecologia da paisagem aos ecossistemas aquáticos. Para Hynes (1975) existe uma conexão entre o corpo hídrico e sua bacia de captação, embora não possuísse naquela época as ferramentas adequadas para quantificar e analisar grandes conjuntos de dados heterogêneos oriundos da bacia de captação e capazes de influenciar os processos que ocorrem nos ecossistemas aquáticos. Johnson & Gage (1997) pontuaram que o advento das geotecnologias (sensoriamento remoto, geoprocessamento, SIGs, geoestatística) e da disponibilidade de dados espaciais levaram ao avanço nos estudos da paisagem, permitindo que relações complexas pudessem ser elucidadas e preditas. Afirmam também que as características dos ecossistemas aquáticos de água doce refletem a integração de processos físicos e biológicos que ocorrem na bacia de captação e que o desenvolvimento da teoria da hierarquia e da dinâmica de manchas, além do refinamento das ferramentas para a análise da heterogeneidade espacial e temporal, deu perspectiva à análise dos ecossistemas aquáticos em escala regional.

Wiens (2002) procurou estabelecer elementos de ligação entre a ecologia aquática e a ecologia terrestre dentro do contexto espacial, focando em rios e córregos, os quais, tradicionalmente, são considerados por ecólogos da paisagem como elementos do mosaico da paisagem terrestre ou como unidades que estão ligadas à paisagem terrestre como fluxos nas

fronteiras ou ecótonos. Entretanto, os princípios da ecologia da paisagem podem ir além da visão tradicional, proporcionando um entendimento conceitual mais robusto das influências antrópicas, biológicas, físicas e químicas na heterogeneidade de ecossistemas aquáticos no tempo e no espaço (MAGNUSON; KATZ, 2000; WIENS, 2002).

Segundo Wiens (2002), existem seis temas centrais da ecologia da paisagem que podem ser estendidos para os ambientes aquáticos, a saber: manchas diferem em qualidade (características físicas intrínsecas do corpo hídrico), os limites da mancha afetam os fluxos (margens do corpo hídrico), o contexto da mancha na paisagem importa (características do entorno), a conectividade é crítica (movimento de materiais e organismos por meio de conexões, como córregos), os organismos são importantes, assim como a escala.

Soranno *et al.* (2009) formalizaram a integração dos lagos no contexto da paisagem. Para esses autores, os lagos (ou reservatórios) podem ser considerados manchas na paisagem, hierarquicamente organizadas em uma complexa matriz terrestre e aquática, a qual é influenciada por características dos sistemas natural e humano que interagem em múltiplas escalas espaciais. Em suma, os autores aplicam o modelo mancha-corredor-matriz (FORMAN, 1995) aos ambientes lênticos, onde o lago é a mancha, os córregos e áreas úmidas são os corredores e os sistemas terrestres e humanos representam a matriz, como mostra a Figura 8.1.

No ano seguinte o Modelo foi adaptado para incorporar todos os ambientes de água doce. Junto surgiu o termo Limnologia da Paisagem (SORANNO *et al.*, 2010), que é o estudo espacialmente explícito dos corpos de água e das zonas úmidas e sua interação com as paisagens de água doce, terrestre e humana, com o objetivo de determinar os efeitos dos padrões nos processos de ecossistemas através das escalas espacial e temporal, como mostra a Figura 8.2.

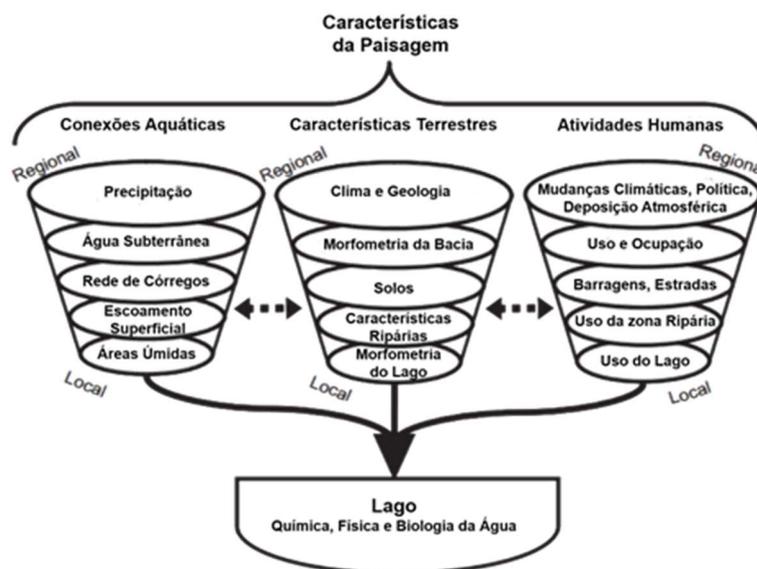


Figura 8.1 - Modelo desenvolvido por Soranno *et al.* (2009)

O sensoriamento remoto é uma fonte consistente de dados que pode ser bastante útil no estudo de sistemas complexos como os mostrados nas Figuras 8.1 e 8.2, já que fornece uma gama de dados com resoluções multiespaciais, multiespectrais e multitemporais (HAY *et al.*, 2002). As imagens que registram reflectância podem fornecer o uso e as ocupações e alguns parâmetros bióticos e abióticos. As imagens de microondas podem fornecer informações topográficas permitindo que se analise parâmetros como altitude, declividade, orientação de vertentes, e sombreamento, deste modo chegando a parâmetros geomorfológicos. Assim, uma variedade enorme de informações sobre as bacias de captação podem ser agrupadas em ambiente computacional com outros dados geográficos oriundos de outras fontes. Em linhas gerais, o sensoriamento remoto é a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da Terra por meio de sua interação com a radiação

eletromagnética, uma vez que os alvos interagem diferentemente nas diversas faixas do espectro eletromagnético. Esta energia é captada e registrada pelos sensores remotos, para posteriormente ser transformada em imagem (LILLESAND; KIEFER, 2000; MANTELLI, 2012; BITENCOURT; MANTELLI, 2015).

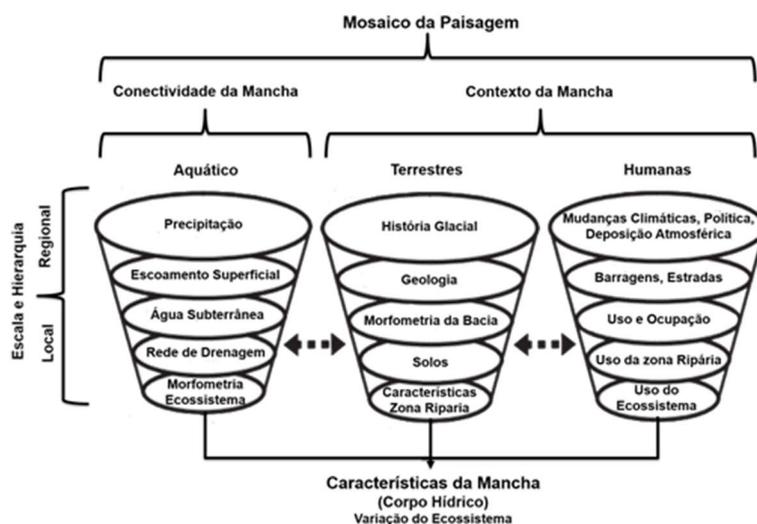


Figura 8.2 - Modelo da Limnologia da Paisagem desenvolvido por Soranno *et al.* (2010)

A importância do uso do sensoriamento remoto se enaltece quando nos deparamos com a limitação do uso de medidas obtidas em *in situ* numa escala maior, como uma bacia de captação. Mesmo uma densa rede contínua de medidores *in situ* é incapaz de representar uma janela maior de observação. Estas medidas pontuais são importantes, já que a interpolação dos dados permite a realização de inferências sobre os padrões locais (JENSEN, 2006; KIRK, 2011). O problema é que estas inferências perdem seu grau de significância estatística à medida que a escala aumenta (KROGER; LAW, 2005). Somando-se a isto, a implantação e a manutenção de uma rede de medidores implicam em um investimento pessoal e financeiro que está longe da realidade de países em desenvolvimento.

O sensoriamento remoto, então, permite inferir parâmetros quantitativos de importantes variáveis hidrológicas em diversas escalas espaciais e temporais, com baixo custo e otimização da obtenção da informação. Pettorelli *et al.* (2014), produziram um artigo de revisão que enfatizou as oportunidades e desafios do uso do sensoriamento remoto em estudos ecológicos. Bitencourt & Mantelli (2015) desenvolveram um capítulo de revisão sobre aplicação do sensoriamento remoto e geoprocessamento na análise de alguns parâmetros limnológicos.

Segundo Câmara & Davis (2015), geoprocessamento é a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e teve seu advento graças à possibilidade de armazenamento e representação das informações em ambiente computacional. Para Bielenki Júnior & Barbassa (2012), quando o geoprocessamento é aplicado a uma temática específica, como recursos hídricos, deve-se estar baseado em três pilares básicos, o conhecimento do tema (definição das regras e formas de interação dos dados), a cartografia (espacialização dos dados) e a informática (ligação entre as informações e as suas representações espaciais).

O geoprocessamento apresenta um enorme potencial tecnológico de custo relativamente baixo (CÂMARA; DAVIS, 2015), principalmente no que concerne aos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs). Os SIGs são sistemas voltados à aquisição, análise, armazenamento, manipulação e apresentação de informações referenciadas espacialmente (informações geocodificadas). Tais sistemas são ferramentas para realizar o inventário de dados geográficos, fundir dados de muitas fontes, monitorar e avaliar a condição de nosso ambiente e modelar ou prever as consequências das alterações no ambiente (KIMMERLING, 1994; MENEGUETTE, 1994).

Como exemplo, temos Soranno *et al.* (2017) que apresentam um banco de dados de múltiplas escalas geoespacial e temporal, de 1.000 lagos e reservatórios num artigo com 82 autores de 57 instituições de 17 estados Norte Americanos (<https://github.com/cont-limno/LAGOS>). O banco de dados cobre três aspectos de vital importância: a) localização e características físicas dos corpos d'água; b) alguns tópicos ecológicos como o uso das terras, a geologia, o clima e a hidrografia, dentro da bacia de captação; e c) diversas medidas *in situ* de qualidade da água, entre as quais o fósforo total (150.000 medidas), a clorofila (200.000 medidas) e a profundidade de Secchi (900.000 medidas). O banco tem todos os dados de campo georeferenciados além dos dados obtidos por sensoriamento remoto e aqueles obtidos através da literatura, tudo analisável em ambiente de SIG.

Diante da literatura apresentada, fica patente que a principal unidade territorial e de maior importância para a Limnologia é a bacia de captação. A qualidade de um corpo d'água é fortemente influenciada pelos usos e ocupação, pela geomorfologia, pela precipitação e pelos tipos de solos dentro da bacia de captação. Assim, delimitar e analisar as bacias deve ser o primeiro passo para se estudar a qualidade e a sanidade de lagos e reservatórios. Então, dados obtidos por sensoriamento remoto orbital e pela literatura, juntamente com as técnicas de geoprocessamentos, são na atualidade indispensáveis nos estudos de bacias. Como apontado por Pompêo & Moschini-Carlos (2015), no prefácio do livro, comentam que não bastam unicamente ações de manejo no próprio corpo de água. Segundo estes autores, as ações mais importantes deveriam ser executadas fora do manancial em questão, pois há muito não se pensa o "lago como um microcosmo", e as pesquisas mostram a importância do entorno refletindo na degradação da qualidade das águas. Seguem os autores, que cabe a todos os gestores da qualidade das águas de reservatórios empreenderem esforços para conhecer seu entorno, a bacia hidrográfica, e não só o reservatório em si. Complementam que através desse conhecimento integrado (água e entorno), os gestores terão maiores subsídios para implantar programas de monitoramento e manejo, particularmente dos reservatórios e cuidar da saúde e dos serviços ecossistêmicos oferecidos por esses ecossistemas e mananciais.

Ross e Moroz (1997) publicaram o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo indicando classes de fragilidade ambiental segundo o tipo de solo e o tipo de dissecação. Em vários de seus trabalhos Ross enfatiza a importância da geomorfologia em estudos da fragilidade, da potencialidade e do planejamento ambiental (ROSS, 1994; 2006 e 2012; VERVLOET; ROSS, 2013). Segundo Ross, a Fragilidade Potencial varia com o tipo de Solo e com o tipo de Dissecação do relevo. A dissecação do relevo pode ser de dois tipos: **agração** (terraços fluviais; planícies marinhas, fluvial e intertital) e **denudação** (topos convexos, agudos e tabulares). A numeração que acompanha os três tipos de denudação indicam o grau da erosão sofrido pelo relevo. É denominado de Fragilidade Potencial a vulnerabilidade natural do ambiente e de Fragilidade Ambiental a vulnerabilidade natural associada aos graus de proteção que os diferentes tipos de uso e cobertura vegetal exercem.

Kawakubo *et al.* (2005) apontam a utilidade das técnicas de geoprocessamento na estimativa das fragilidades, potencialidades e planejamento ambiental. É denominado de fragilidade potencial, a vulnerabilidade natural do ambiente, e de fragilidade ambiental, a vulnerabilidade natural associada aos graus de proteção que os diferentes tipos de uso e cobertura vegetal exercem. A fragilidade do solo ou erodibilidade corresponde à vulnerabilidade do solo à erosão. As diferenças nos atributos físicos e químicos explicam, em muitos casos, o fato de alguns solos erodirem mais que outros mesmo estando expostos a uma mesma condição ambiental. Outro elemento que interfere no processo erosivo é o tipo de uso do solo e a cobertura vegetal. Além de proteger o solo contra a perda de material, o uso adequado e a cobertura vegetal protegem o solo direta e indiretamente contra os efeitos modificadores das formas do relevo.

Uma maneira de se delimitar a bacia de captação é através de imagens topográficas, também conhecidas como *Digital Elevation Model* (DEM). As imagens topográficas registradas pela missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) tem sido muito utilizadas graças a sua disponibilidade gratuita. O sobrevôo SRTM aconteceu de 11 a 22 de fevereiro de 2000 e foram percorridas 16 órbitas por dia, num total de 176 órbitas. Suas imagens de uma faixa das microondas (*SAR = synthetic aperture radar*) sofreram um processamento específico (interferonometria) transformando-as em imagens de altitude. No Brasil estas imagens foram

ortoretificadas para os mapas do IBGE por Valeriano (2004) e receberam o nome de TOPODATA. Estão disponíveis no link: <http://www.dpi.inpe.br/topodata/>.

A Figura 8.3 mostra um exemplo de bacia de captação obtido por geoprocessamento e sensoriamento remoto (SRTM), sobreposta por informações oriundas de outras fontes mas de grande interesse limnológico.

Santos (2015) apresenta as relações entre a fragilidade ambiental e a vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. O objetivo de tal artigo é demonstrar em que medida a fragilidade ambiental e a vulnerabilidade social se combinam na susceptibilidade aos riscos. De acordo com Ross (1994), dentro desta concepção ecológica o ambiente é analisado sob o prisma da Teoria do Sistema que parte do pressuposto que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio, entretanto, é freqüentemente alterado pelas intervenções humanas, gerando estados de desequilíbrios temporários ou até permanentes. Diante dos diferentes estados de equilíbrio e desequilíbrio que o ambiente está submetido, Ross (1994) sistematizou uma hierarquia nominal de fragilidade representadas por códigos: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5). Estas categorias expressam especialmente a fragilidade do ambiente em relação aos processos ocasionados pelo escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais.

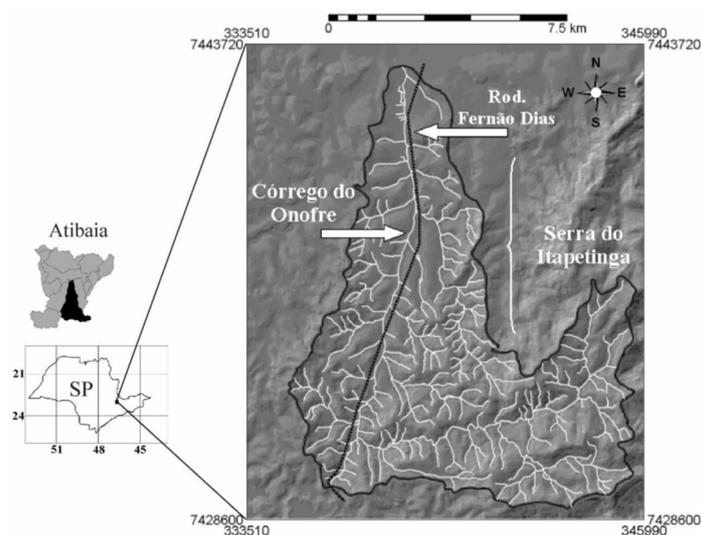


Figura 8.3 - Imagem SRTM apresentando a drenagem em branco e o limite da bacia de captação em preto, assim como um trecho da Rod. Fernão Dias. Fonte: Kawakubo *et al.* (2005)

## Material e Métodos

Kumazawa (2017) combinou técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto orbital (SRTM e LANDSAT), e a geomorfologia de Ross & Moroz (1997) para mapear bacias de captação relacionadas com reservatórios sujeitos a fortes impactos antrópicos. Os 25 reservatório estudados estão em cinco Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos ou UGRHs (3 na UGRH2; 3 na UGRH4; 5 na UGRH5; 13 na UGRH6 e 1 na UGRH13) e apresentam bacias com diferentes geomorfologias. Após a delimitação dessas bacias utilizando imagens SRTM, estes limites foram usados para extrair as classes geomorfológicas já mencionado, também no formato digital (AutoCAD dwg).

A Figura 8.4 apresenta o fluxograma seguido por Kumazawa (2017) para obter os limites das bacias. Três conjuntos de dados contribuíram para a elaboração dos mapas temáticos das 25 bacias estudadas: Mapa Geomorfológico de Ross & Moroz (1997) no formato digital, imagens de satélite disponíveis no site do INPE - GLS-LANDSAT (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) e os dados vetoriais disponíveis no site DataGeo (<https://www.ambiente.sp.gov.br/tag/datageo/>).

As 25 bacias estudadas por Kumazawa (2017) estão localizadas em planícies fluviais (Apf); a maioria em topos convexos (Dc); seguidos de topos agudos (Da); e alguns topos tabulares

(Dt), sendo que A = agradação e D = denudação. A numeração que acompanha cada classe indica de forma crescente quão convexo, quão agudo ou quão tabular é cada topo.

Os Mapas Temáticos apresentados a seguir, todos elaborados por Kumazawa (2017), trazem as bacias de captação e dentro delas as classes de Fragilidade Potencial segundo a Dissecação e segundo o solo dominante, conforme Ross & Moroz (1997). A cor Vermelha representa as áreas com Fragilidade Potencial Média, as cores Verdes e Amarela representando a Fragilidade Potencial Alta e Muito Alta, respectivamente. A cor Nude se refere a Fragilidade Potencial Baixa e a cor Mostarda se refere a Fragilidade Potencial Muito Baixa, ambas as cores só aparecem em um único mapa cada. Os tipos de dissecação estão representadas pelas letras Da, Dc e Dt bem como a área de cada classe, em hectare (ha). A cor Roxa se refere a Agradação de planície fluvial que corresponde a uma Fragilidade Potencial Muito Alta. Em Azul estão as lâminas d'água.

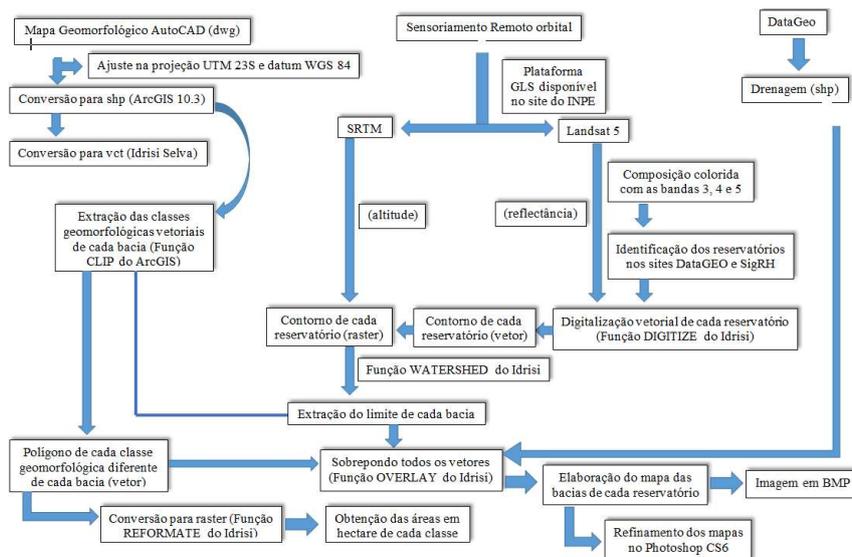


Figura 8.4 - Fuxograma para obtenção dos mapas de Fragilidade Potencial pela Dissecação do relevo das 25 bacias estudadas  
Fonte: Kumazawa (2017).

## Resultados

A Fragilidade Potencial, segundo Ross & Moroz (1997), varia conforme o tipo de Dissecação do Relevo e Solos dominantes, e podendo ser resumida conforme Tabela 8.1.

Tabela 8.1 - Níveis de Fragilidade Potencial, Índices de Dissecação, Solos dominantes e a cor trazida nos mapas

Níveis de potencial de fragilidade	Índice de Dissecação do Relevo	Solos dominantes	Cor no Mapa
Muito baixa	Dt11	Latossolos	Nude
Baixa	Dt12	Latossolos	Mostarda
Média	Da23, 32 e 33 Dc13, 23, 32 e 33	Podzólicos e Latossolos	Vermelho
Alta	Da52 e 54 Dc15, 25, 28 e 35	Cambisolos, Podzólicos e Latossolos	Verde
Muito alta	Da34, 42, 43 e 44 Dc14, 24, 34, 42, 43 e 44	Cambisolos, Podzólicos e Latossolos	Amarelo
Muito alta	Apf	Planícies aluviais	Roxo

## RESERVATÓRIO DE SANTA BRANCA

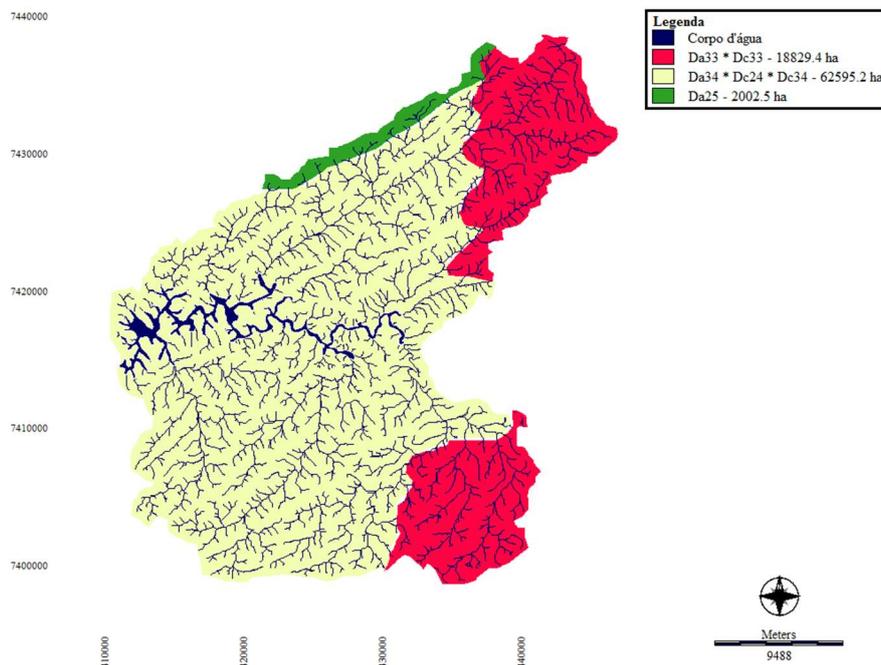


Figura 8.5 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório de Santa Branca que faz parte da UGRH2

Localizado na Unidade Morfoestrutural “Cinturão Orogênico do Atlântico”, na Unidade Morfoescultural “Planalto Atlântico”, mais especificamente no Planalto Paraitinga/Paraibuna e Depressão do Médio Paraíba. Pelo tipo de dissecação, a Fragilidade Potencial é considerada **Media**, na área em vermelho (22,6%), e é **Alta** nas áreas em verde (2,4%) e amarela (75%) . Os tipos de solos dominantes são Cambissolos e Litólicos, cuja Fragilidade Potencial é considerada **Muito Alta**.

**Histórico** - A primeira geradora de energia elétrica do Vale do Paraíba foi a Usina Hidrelétrica Santa Branca, que teve suas obras iniciadas em 1957 e concluídas em 1961. O empreendimento foi realizado pela Light and Power Company, uma importante empresa concessionária de energia elétrica na época, que fez história tanto no Estado de São Paulo quanto no Rio de Janeiro. Além da preocupação com a geração de energia elétrica para os consumidores do Vale do Paraíba, a Light também tinha uma grande preocupação com o controle da vazão do rio Paraíba do Sul, que já na época tinha uma parte importante de seus caudais desviados para o Complexo Hidrelétrico de Lajes, da própria Light, no Estado do Rio de Janeiro.

Fonte: <https://ferdinandodesousa.com/2019/04/12/as-usinas-hidreletricas-de-paraibuna-jaguari-e-santa-branca/>

## RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE IGARATÁ

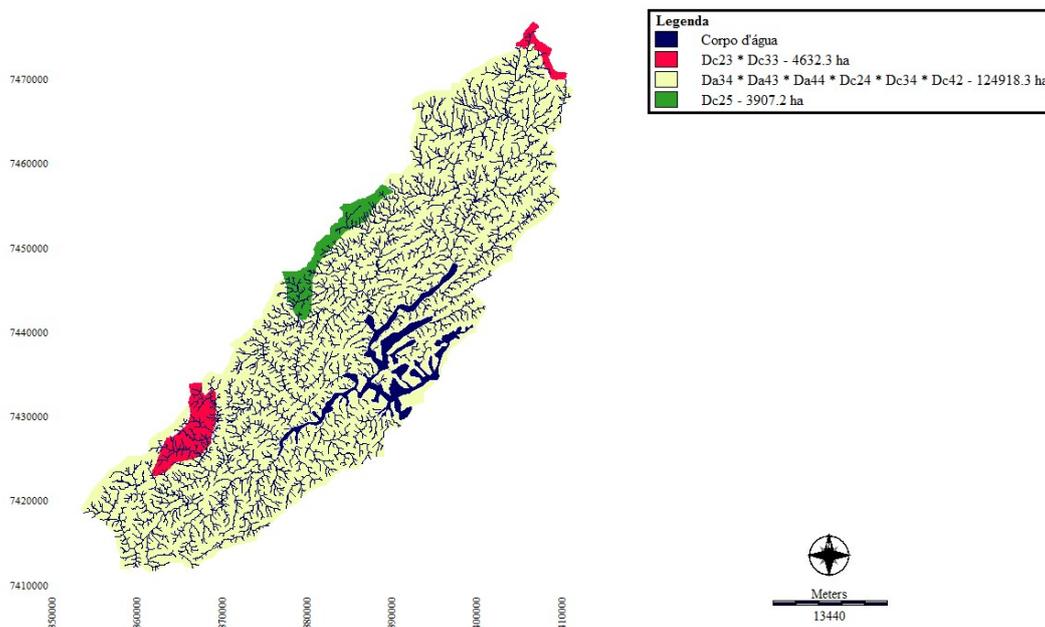


Figura 8.6 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório de Água de Igaratá (ou Jaguari/Igaratá) que faz parte da UGRH2

Localizado na Unidade Morfoestrutural “Cinturão Orogênico do Atlântico”, na Unidade Morfoescultural “Planalto Atlântico”, mais especificamente no Planalto e Serra da Mantiqueira. Pelo tipo de dissecação, a Fragilidade Potencial é **Media** na área em vermelho (3,5%), e é **Alta** na área em verde (2,9%) e **Muito Alto** na área em amarela (93,6%). Pelo tipo de solos dominantes são Cambissolos e Litólicos cuja a Fragilidade Potencial é considerada **Muito Alta**.

**Histórico** - A segunda usina da região foi a Hidrelétrica Jaguari, construída pela CESP – Centrais Elétricas de São Paulo (que depois teve o nome alterado para Companhia Energética de São Paulo), entre os anos de 1963 e 1971. Essa usina foi construída no rio Jaguari, um importante afluente do rio Paraíba do Sul em Iguaratá. Além de gerar energia elétrica e também atuar no controle da vazão das águas do rio Paraíba do Sul, Jaguari também incorporou entre seus objetivos o abastecimento de água de várias cidades da região.

## RESERVATÓRIO DE PARAIBUNA

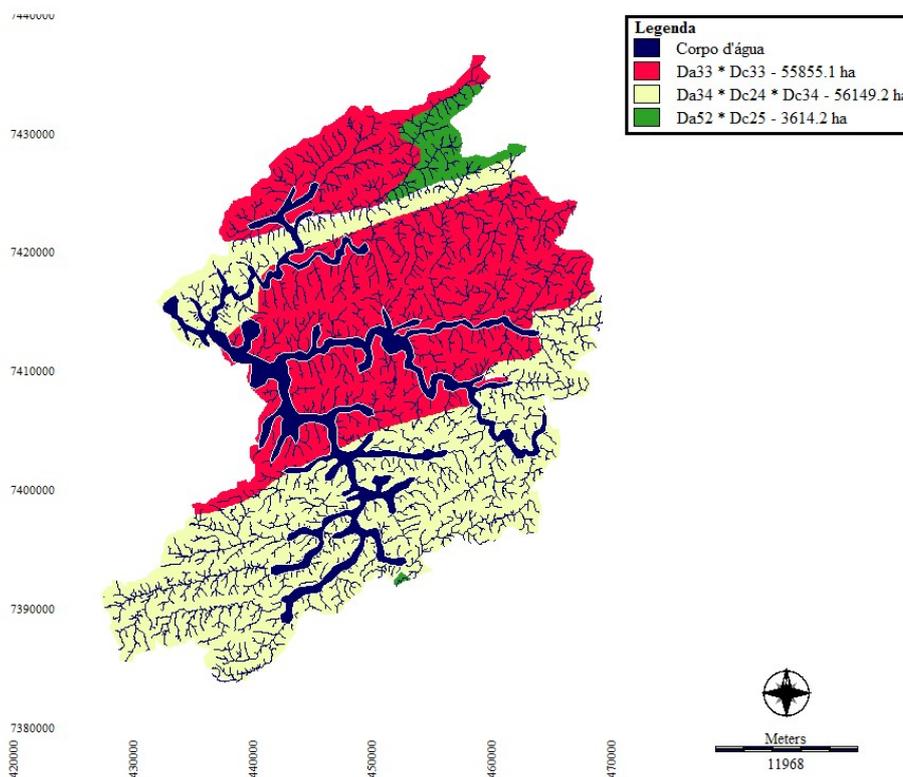


Figura 8.7 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório de Paraibuna que faz parte da UGRH2

Localizado na Unidade Morfoestrutural “Cinturão Orogênico do Atlântico”, na Unidade Morfoescultural “Planalto Atlântico”, mais especificamente no Planalto Paraitinga/Paraibuna. Pelo tipo de dissecação, a Fragilidade Potencial é considerada **Média**, na área em vermelho (48% da bacia) e é considerada **Alta**, nas áreas em verde (3,5%) e amarela (48,5%). Os tipos de solos dominantes são Cambissolos e Litólico, cuja Fragilidade Potencial é considerada **Muito Alta**.

**Histórico** - A última e maior usina construída na região do Vale do Paraíba foi a Hidrelétrica Paraibuna da CESP, concluída em 1978. A barragem dessa hidrelétrica represou as águas dos rios Paraibuna e Paraitinga, criando um lago com área total de 224 km<sup>2</sup>, sendo 177 km<sup>2</sup> no rio Paraibuna e 47 km<sup>2</sup> no rio Paraitinga. A Represa de Paraibuna é o maior reservatório do rio Paraíba do Sul, que tem a importante função de regularizar a vazão do rio, evitando os antigos problemas de enchentes que ocorriam em diversos trechos do Paraíba do Sul.

Além da sua importância na geração de energia elétrica, os reservatórios das hidrelétricas de Paraibuna, Jaguari/Iguaratá e Santa Branca, na região do Vale do Paraíba, e o reservatório da Usina Hidrelétrica do Funil, localizado em Resende no Sul do Estado do Rio de Janeiro, formam o “reservatório virtual” do Sistema Hidráulico do rio Paraíba do Sul, um importantíssimo conjunto de estruturas hidráulicas que respondem pelo abastecimento de 14,2 milhões de pessoas, a grande maioria no Estado do Rio de Janeiro.

## RESERVATÓRIO ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA

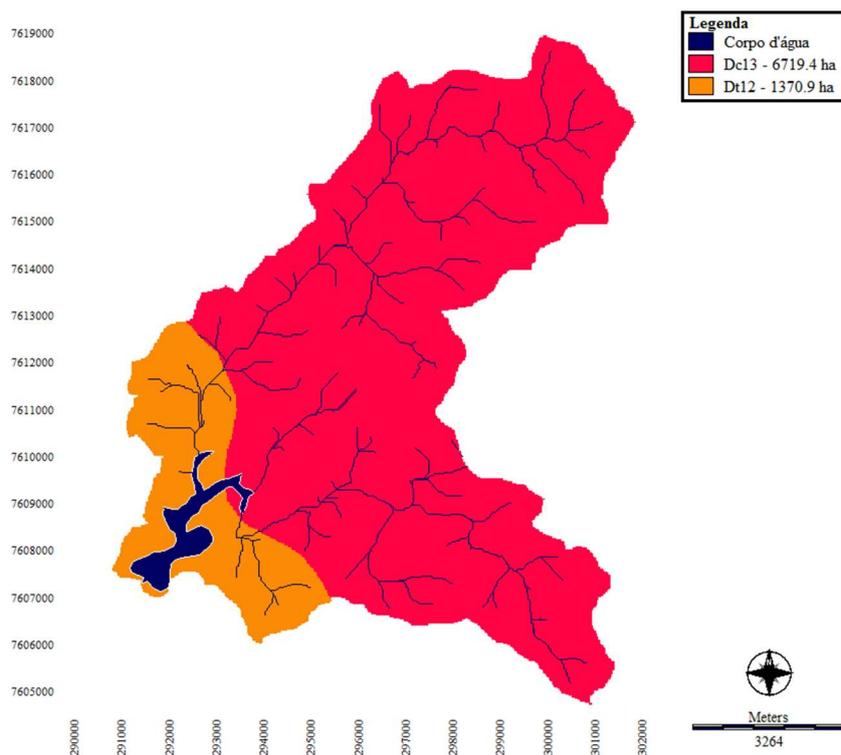


Figura 8.8 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório Armando de Salles Oliveira ou Limoeiro que faz parte da UGRH4

Bacia desse reservatório está localizada na Depressão Moji-Guaçu e Planalto Alto do Rio Grande. Pelo tipo de Dissecção, a Fragilidade Potencial varia de **Baixa** em mostarda (17%) para **Média** em vermelho (83%). Os tipos de solos predominantes são Latossolo e Podzólico Vermelho Amarelo cuja Fragilidade Potencial é considerada **Média**.

**Histórico** - Foi idealizada no ano de 1954 na região de Mogiana, em uma época em que havia um grande desenvolvimento industrial na região, e por isso teve início a a construção de Usinas, no Rio Pardo. A construção da Usina durou 5 anos, naquele tempo a mão-de-obra especializada não existia, então a construtora incentivou e deu cursos para quem estava interessado em trabalhar na obra. Com todas as dificuldades no ramo de eletricidade, sem experiência, os pioneiros conseguiram seus objetivos: gerar energia elétrica e entregar para as cidades da região da Mogiana.

A usina foi inaugurada em 25 de setembro de 1958 com o nome de Usina Armando de Salles Oliveira, em homenagem ao governador do Estado de São Paulo; mas o nome não pegou. Com o passar do tempo, por existir muitos pés de limão na região, o povo passou a chamar a Usina de Limoeiro, e o nome ficou até hoje.

Fonte: <https://www.ana.gov.br/noticias/hidretricas-de-caconde-e-limoeiro-deverao-reduzir-liberacao-de-agua-ate-30-de-abril>

## RESERVATÓRIO GRAMINHA

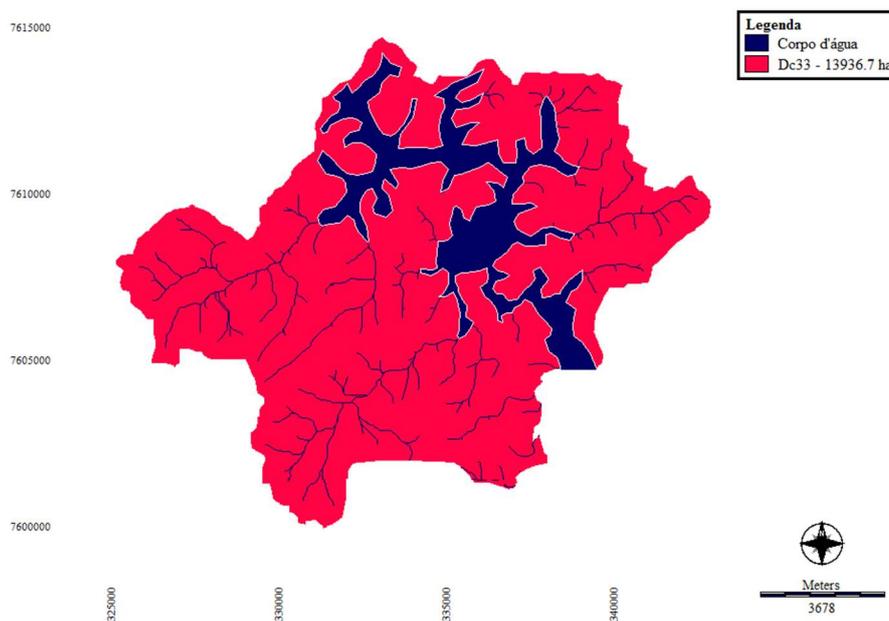


Figura 8.9 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório Graminha ou Caconde que faz parte da UGRH4

Localizado na Unidade Morfoestrutural “Cinturão Orogênico do Atlântico”, na Unidade Morfoescultural “Planalto Atlântico”, mais especificamente no Planalto Alto Rio Grande. Pela Dissecação a Fragilidade Potencial da bacia é **Média**. Pelo tipo de solo (Podzólico Vermelho Amarelo) a Fragilidade Potencial é **Alta**.

**Histórico** - Suas obras foram iniciadas em 1958. Com o término das usinas Limoeiro e Euclides da Cunha, o pessoal com experiência foi aproveitado para construir a Usina de Caconde. O local da construção da Usina era denominado "Graminha", no início após a conclusão da obra, passou a ser conhecida como "Usina Graminha".

A mudança do nome da Usina Graminha para Usina Caconde foi no ano 1966, depois da união de todas as pequenas companhias de eletricidade que formaram a CESP, em homenagem a cidade de Caconde.

## RESERVATÓRIO EUCLIDES DA CUNHA

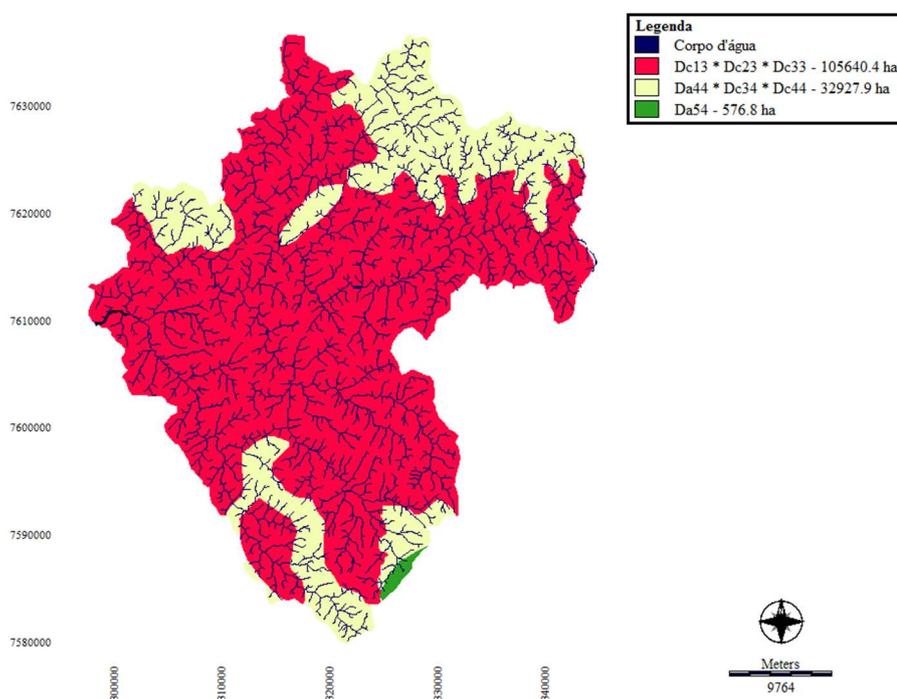


Figura 8.10 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório Euclides da Cunha que faz parte da UGRH4

Localizado na Unidade Morfoestrutural “Cinturão Orogênico do Atlântico”, na Unidade Morfoescultural “Planalto Atlântico”, mais especificamente no Planalto Alto Rio Grande e Planalto Serra Negra/Lindóia. Pelo tipo de Dissecação predomina a Fragilidade Potencial da bacia é **Média** em vermelho (75,9%) é **Alta** em verde (0,4%) e **Muito Alta** em amarelo (23,7%). Pelo tipo de solo (Podzólico Vermelho Amarelo) a Fragilidade Potencial é **Alta**.

**Histórico** - A Usina foi encomendada pela Companhia Hidrelétrica do Rio Pardo (CHERP) em 1954, sendo suas obras iniciadas no ano seguinte pelo DAEE e pela empresa Noreno Brasil S.A. Teria capacidade de geração de 139 MW e deveria ser entregue em outubro de 1960. A primeira etapa da usina seria concluída em 21 de abril de 1961, sendo que a segunda etapa seria concluída em 1963.

Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Usina\\_Hidrelétrica\\_Euclides\\_da\\_Cunha](https://pt.wikipedia.org/wiki/Usina_Hidrelétrica_Euclides_da_Cunha)

## RESERVATÓRIO SALTO GRANDE

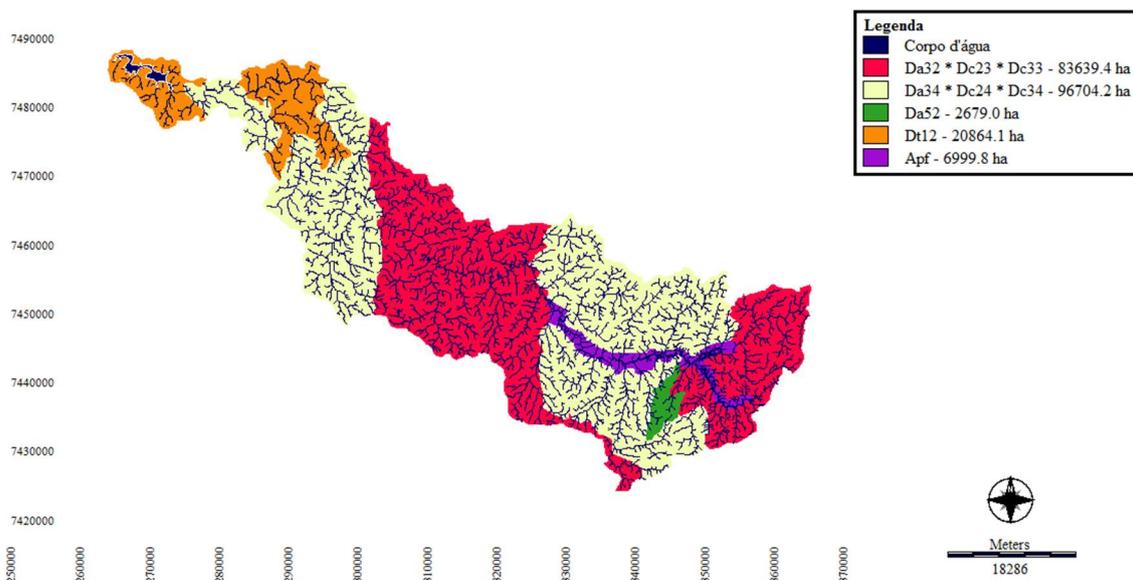


Figura 8.11 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório Salto Grande que faz parte da UGRH5

Localizado na Unidade Morfoestrutural “Bacia Sedimentar do Paraná”, na Unidade Morfoescultural “Depressão Periférica Paulista” mais especificamente na Depressão Moji Guaçu, Planalto de Jundiá, e Planalto e Serra da Mantiqueira. Pelo tipo de Dissecção a Fragilidade Potencial é **Media** em vermelho (39,6%), é **Muito Alta** em amarelo (45,9%), é **Baixa** em mostarda (9,9%), é **Alta** em verde (1,3%) e é também **Muito Alta** em roxo (3,3%). Pelo tipo de solo (Cambissolo, Latossolo e Podzólico Vermelho Amarelo) a Fragilidade Potencial é **Alta** e **Multa Alta** no trecho referente a planície fluvial.

**Histórico** - Em 1907 uma parte remanescente da Fazenda Salto Grande, localizada entre o rio Jaguari e a Fábrica de Tecidos Carioba, foi comprada pelo Comendador Franz Müller, proprietário desta fábrica. A intenção na aquisição desta parte remanescente da fazenda estava ligada a facilidade apresentada pela mesma para a construção de uma usina hidrelétrica, onde havia uma grande queda d'água sobre um maciço de rocha magmática no rio Atibaia, o que possibilitaria a ampliação da sua indústria têxtil.

Assim em 1911 foi inaugurada a primeira Usina Hidrelétrica de Salto Grande com uma potência inicial de 2.500 kW que passou a fornecer energia elétrica para a sua indústria e também para Americana, Cosmópolis, Santa Bárbara e Rebouças (Sumaré).

Essa usina acabou sendo vendida em 1930 à Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL, devido a crise econômica de 1929. Para atender a demanda de energia elétrica das novas indústrias em Americana, a CPFL inicia em 1940 a construção da nova usina hidrelétrica na Fazenda Salto Grande, aproveitando a mesma queda d'água da antiga, concluindo sua construção em 1948. A atual Usina Hidrelétrica de Salto Grande foi inaugurada em 19 de novembro de 1949.

Fonte: <https://www.portalcbn Campinas.com.br/2019/03/represa-de-salto-grande-em-americana-e-reclassificada-pela-aneel/>

## RESERVATÓRIO JAGUARI/JACAREÍ

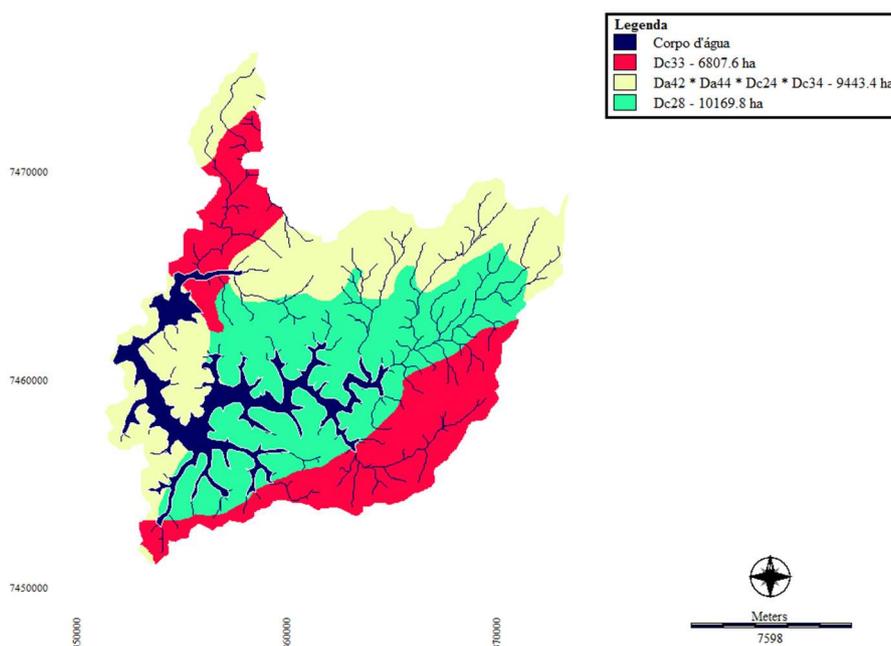


Figura 8.12 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório Jaguari/Jacareí, pertencente ao Sistema Cantareira, faz parte da UGRH5

Localizado na Unidade Morfoestrutural “Cinturão Orogênico do Atlântico”, na Unidade Morfoescultural “Planalto Atlântico”, mais especificamente na Serra Negra/Lindóia e no Planalto e Serra da Mantiqueira. Pelo tipo de Dissecção a Fragilidade Potencial é **Média** em vermelho (25,7%), **Muito Alta** em amarelo (35,7%) e **Alta** em verde (38,6%). Pelo tipo de solo (Cambissolo, Latossolo e Podzólico Vermelho Amarelo, Litólico, com afloramento Rochosos) a Fragilidade Potencial é **Muito Alta**.

**Histórico** - O represamento dos rios Jaguari, Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Juqueri permite o controle do fluxo das águas desses rios, mantendo-os com uma vazão constante na estiagem, evitando enchentes na época das chuvas, beneficiando, assim, a população de uma grande região que abrange setores das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, nos seguintes municípios: Piracaia, Bom Jesus dos Perdões, Atibaia, Itatiba, Campinas, Paulínia, Bragança Paulista, Pedreira, Cosmópolis, Jaguariúna, Americana, Santa Bárbara d' Oeste, Piracicaba; e da bacia do medio Tietê: Franco da Rocha, Caieiras e Perus.

A sequencia do Sistema Cantareira é: reservatório Jaguari/Jacareí, túnel 7, reservatório Cachoeira, túnel 6, canal livre, reservatório Atibainha, túnel 5, canal Jusante, Juqueri retificado, reservatório Paiva Castro, canal Santa Inês, túnel adutor, duto de Recalque, túnel 4 reservatório Águas Claras, túnel 2 e ETA Guaraú .

Fonte: Barros (2013)

## RESERVATÓRIO CACHOEIRA

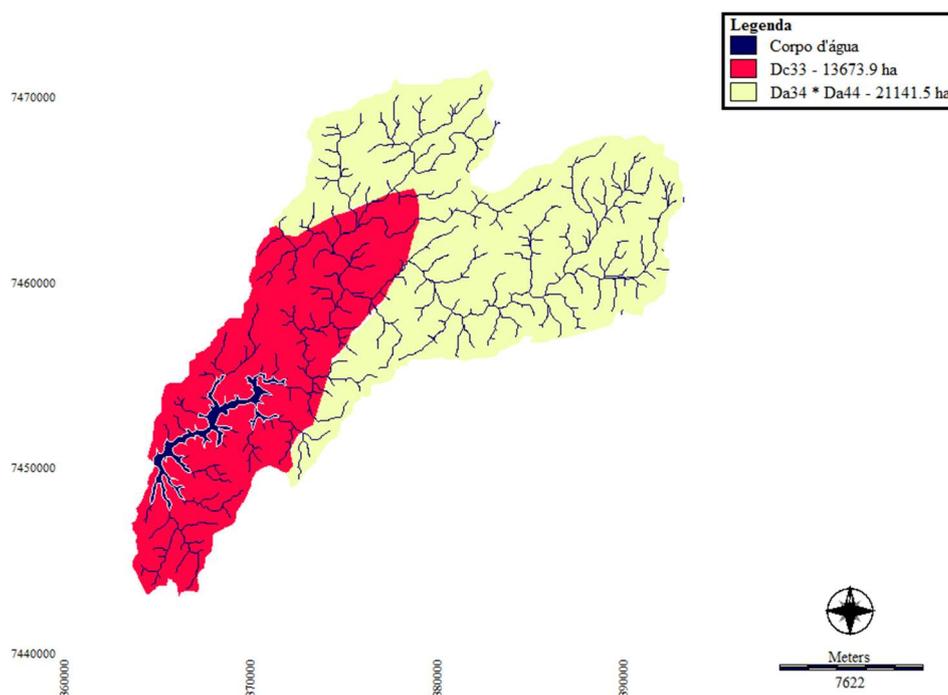


Figura 8.13 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório Cachoeira, pertencente ao Sistema Cantareira, faz parte da UGRH5

Localizado na Unidade Morfoestrutural “Cinturão Orogênico do Atlântico”, na Unidade Morfoescultural “Planalto Atlântico”, mais especificamente no Planalto de Jundiaí e no Planalto e Serra da Mantiqueira. Pelo tipo de Dissecção a Fragilidade Potencial é **Média** em vermelho (39,3%) e é **Muito Alta** em amarelo (60,7%). Pelo tipo de solo (Cambissolo, Latossolo e Podzólico Vermelho Amarelo, Litólico, com afloramento Rochosos) a Fragilidade Potencial é **Muito Alta**.

P.S.: Nas Figuras 8.13 e 8.14, aparecem apenas os limites das bacias que pertence ao estado de São Paulo. O restante de cada bacia encontra-se no estado de Minas Gerais onde o mapa geomorfológico utilizado não cobre.

## RESERVATÓRIO ATIBAINHA

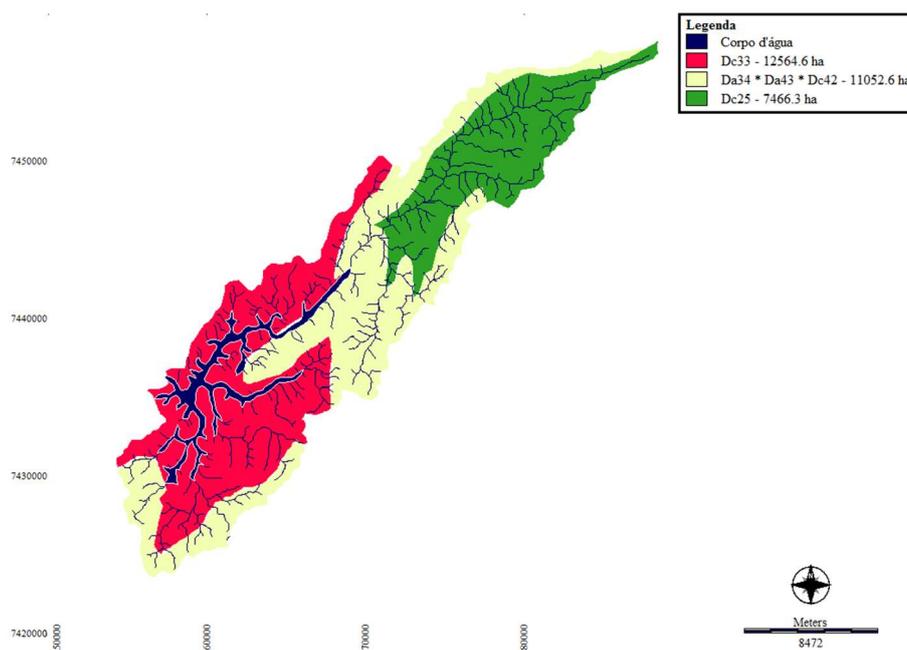


Figura 8.14 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório Atibainha, pertencente ao Sistema Cantareira, faz parte da UGRH5

Localizado na Unidade Morfoestrutural “Cinturão Orogênico do Atlântico”, na Unidade Morfoescultural “Planalto Atlântico”, mais especificamente no Planalto Jundiá e no Planalto e Serra da Mantiqueira. Pelo tipo de Dissecção a Fragilidade Potencial é **Média** a classe em vermelho (40,4%), é **Alta** a classe em verde (24,0%) e é **Muito Alta** a classe em amarelo (35,5%). Pelo tipo de solo (Cambissolo, Latossolo e Podzólico Vermelho Amarelo, Litólico, com afloramento Rochosos) a Fragilidade Potencial é **Muito Alta**.

## RESERVATÓRIO DO JUQUERI

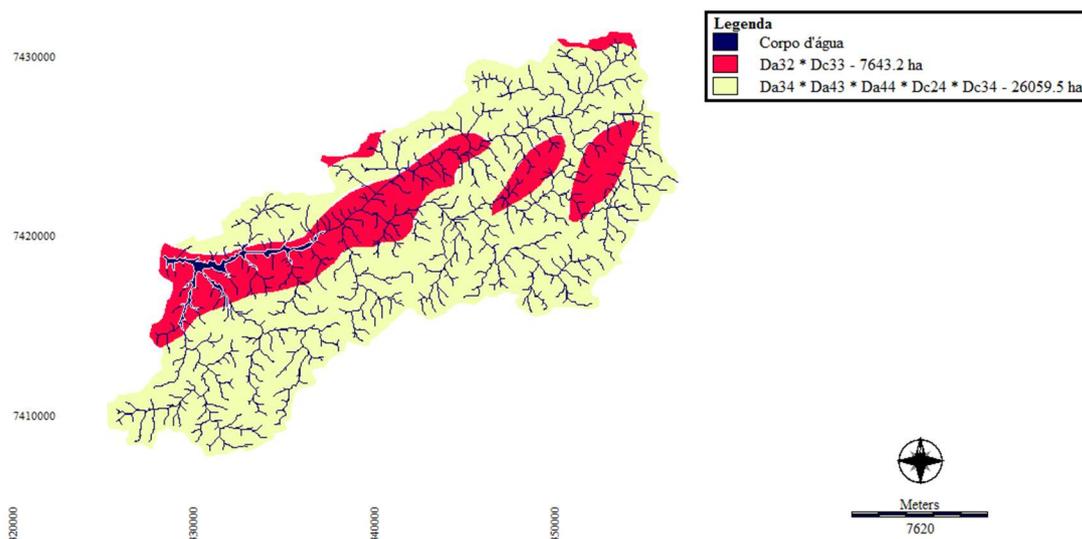


Figura 8.15 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório do Juqueri (ou Paiva Castro), pertencente ao Sistema Cantareira, faz parte da UGRH6

Localizado na Unidade Morfoestrutural “Cinturão Orogênico do Atlântico”, na Unidade Morfoescultural “Planalto Atlântico”, mais especificamente no Planalto Jundiá e no Planalto e Serra da Mantiqueira. Pelo tipo de Dissecção a Fragilidade Potencial é **Média** na classe em vermelho (22,7%) e **Muito Alta** na classe em amarelo (77,3%). Pelo tipo de solo (Cambissolo, Latossolo e Podzólico Vermelho Amarelo, Litólico, com afloramento Rochosos) a Fragilidade Potencial é **Muito Alta**.

## RESERVATÓRIO DO CABUÇU

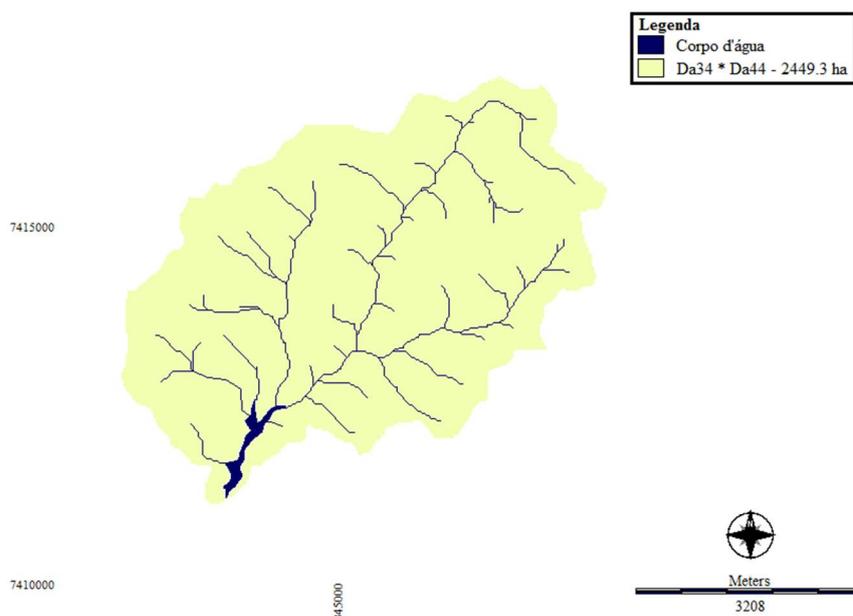


Figura 8.16 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório do Cabuçu que faz parte da UGRH6

Localizado na Unidade Morfoestrutural do “Cinturão Orogênico do Atlântico”, Unidade Morfoescultural do “Planalto Atlântico”, mas especificamente no Planalto e Serra da Mantiqueira. Pelo tipo de Dissecção a Fragilidade Potencial é **Muito Alta** em 100% da bacia. Pelo tipo de solo (Cambissolo e Litólico, com afloramento Rochosos) a Fragilidade Potencial também é **Muito Alta**.

**Histórico** – A represa do Cabuçu teve suas obras iniciadas em 1905 e concluídas em 1907. As represas do Cabuçu, Barrocada e Engordador formavam o Sistema Cabuçu. Das três represas somente a do Cabuçu está dentro do município de Guarulhos. A área da bacia do Cabuçu tem 24 km<sup>2</sup>, o Barrocada tem 8,5 km<sup>2</sup> e Engordador tem 9,6 km<sup>2</sup>. Costado da barragem arco gravidade, do Cabuçu, tirada pelo engenheiro Plínio Tomaz durante a seca de 1969. Na época era Diretor da Repartição de Águas da Capital o engenheiro Arthur da Motta, o mesmo que em 1910, inaugurou a barragem do Barrocada. Foram construídos cerca de 16,6km de aqueduto em concreto armado, com 1,20m de diâmetro, ligando o Sistema Cabuçu à Estação de Tratamento de Água do Mirante em Santana com vazão prevista de 43.400m<sup>3</sup>/dia (502 litros/segundo). A maioria do aqueduto encontra-se sob o solo, mas existe um trecho localizado perto da Chácara do Biondi no Jardim Palmira na estrada do Cabuçu em Guarulhos, onde há um túnel que poucos conhecem.

Fonte: <https://santiago-quarulhos.blogspot.com/2012/02/represas-de-quarulhos.html>

## RESERVATÓRIO RASGÃO

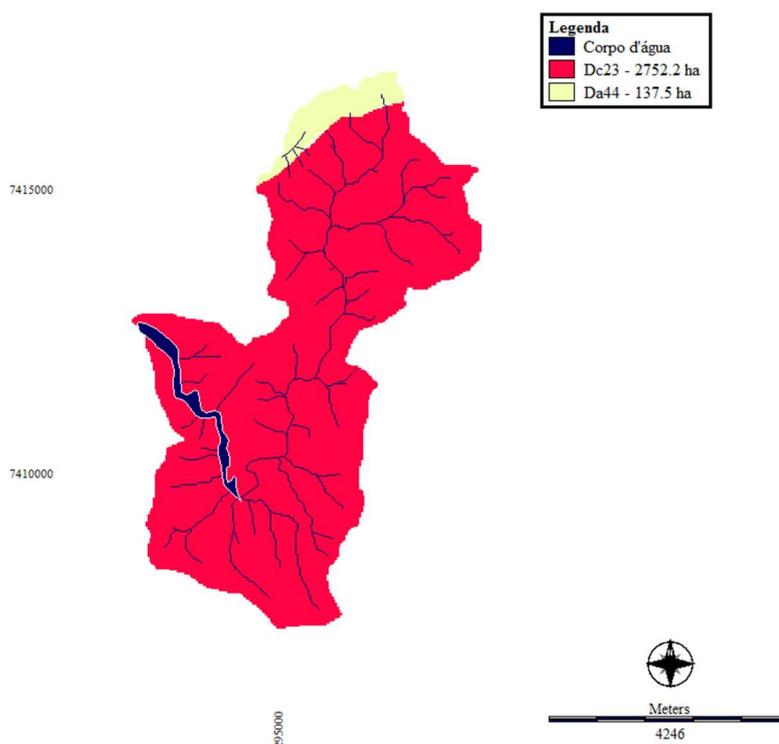


Figura 8.17 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório Rasgão que faz parte da UGRH6

Localizado na Unidade Morfoestrutural do “Cinturão Orogênico do Atlântico”, Unidade Morfoescultural do “Planalto Atlântico”, mas especificamente no Planalto Ibiúna/São Roque. Pelo tipo de Dissecção a Fragilidade Potencial é 95,2% (cor vermelha) de **Média** e 4,8% (cor amarela) de **Muito Alta**. Pelo tipo de solo (Cambissolo e Latossolo e Podzólico Vermelho Amarelo) a Fragilidade Potencial é **Média**.

**Histórico** - A Barragem de Rasgão está localizada em São Paulo, próxima à cidade de Pirapora do Bom Jesus e represa as águas do rio Tietê. Quando o rio Tietê abandona a capital de São Paulo, ele inicia a sua descida rumo a cidade de Itu, e começa a percorrer um traçado sinuoso, esgueirando-se por entre diversas colinas, locais propícios para a construção de barragens. Em um destes pontos foi erguida a Barragem Edgard de Souza, destinada a produção de energia elétrica em Santana de Parnaíba. Um pouco mais a frente, quando o rio Tietê entra no município de Pirapora do Bom Jesus, foi erguida a Barragem de Pirapora do Bom Jesus. Em 06 e setembro de 1925, após 11 meses de construção bem-sucedida graças à capacidade e dedicação do Engenheiro Billings, a Usina Geradora do Rasgão, entra em funcionamento.

Seus reservatórios não são de grandes dimensões mas aproveitam todo potencial hidrológico do rio Tietê que mantém um fluxo constante de água, por todo o ano. Desta forma, a Barragem de Rasgão funciona em conjunto com a Barragem de Pirapora do Bom Jesus.

Fonte: [www.emae.sp.gov.br/rasgao.htm](http://www.emae.sp.gov.br/rasgao.htm)

## RESERVATÓRIO DE PIRAPORA DO BOM JESUS

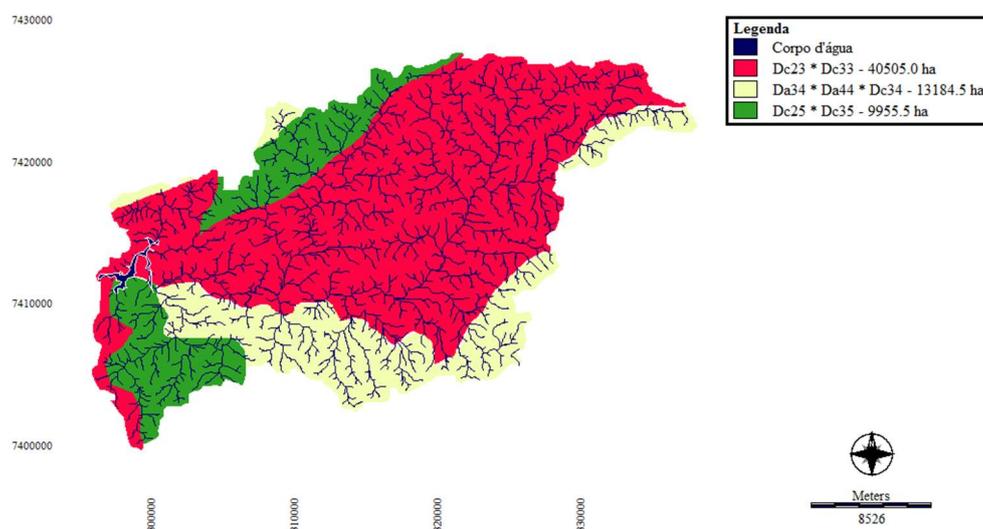


Figura 8.18 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório de Pirapora do Bom Jesus que faz parte da UGRH6

Localizado na Unidade Morfoestrutural do “Cinturão Orogênico do Atlântico”, Unidade Morfoescultural do “Planalto Atlântico”, mas especificamente, nos Planaltos de Jundiá, Ibiúna/São Roque, Paulistano/Alto Tietê, bem como no Planalto e Serra da Mantiqueira. Pelo tipo de Dissecção a Fragilidade Potencial é **Média** em 63,7% da bacia (vermelho), é **Alta** em 15,6% (verde) e é **Muito Alta** em 20,7% (amarelo) da bacia. Pelo tipo de solo (Cambissolo e Latossolo e Podzólico Vermelho Amarelo) a Fragilidade Potencial é **Muito Alta**.

## RESERVATÓRIO CACHOEIRA DA GRAÇA

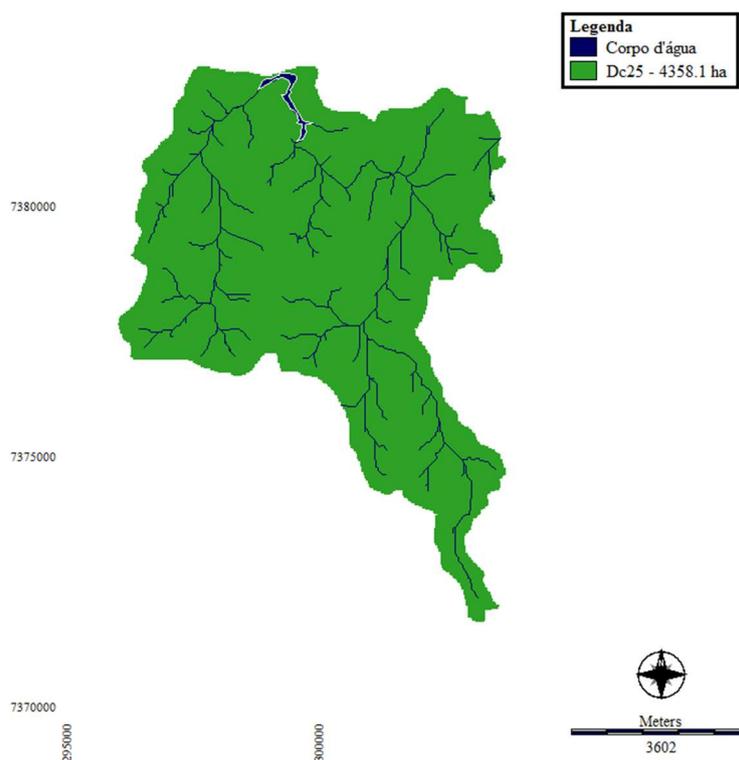


Figura 8.19 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório Cachoeira da Graça que faz parte da UGRH6

Localizado na Unidade Morfoestrutural do “Cinturão Orogênico do Atlântico”, Unidade Morfoescultural do “Planalto Atlântico”, mas especificamente, no Planalto Paulistano/Alto Tietê. Pelo tipo de Dissecção a Fragilidade Potencial é **Alta** em 100% da bacia (verde). Pelo tipo de solo (Cambissolo e Podzólico Vermelho Amarelo) a Fragilidade Potencial é **Alta**.

**Histórico** - A Reserva Florestal Morro Grande é o local das matas que envolvem as represas da Cachoeira da Graça e Pedro Beicht, situada nas bacias inferiores e superiores do Rio Cotia, no Estado de São Paulo. As represas da Graça (1916) e Pedro Beicht (1929), foram construídas entre 1916 - 1933, e o Sistema Baixo Cotia, que entrou em operação após janeiro de 1963, com a inclusão das Barragens de Isolina Superior e Inferior.

Fonte: [http://site.sabesp.com.br/site/muitoalemdaagua/download/metropole\\_e\\_suas\\_aguas.pdf](http://site.sabesp.com.br/site/muitoalemdaagua/download/metropole_e_suas_aguas.pdf)

## RESERVATÓRIO DE PEDRO BEICHT

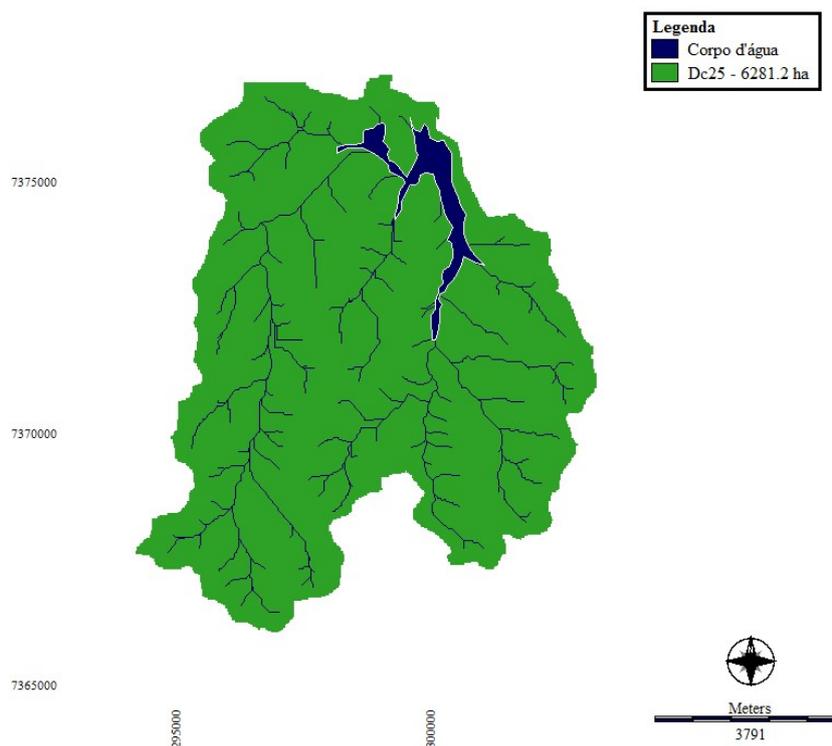


Figura 8.20 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório de Pedro Beicht que faz parte da UGRH6

Localizado na Unidade Morfoestrutural do “Cinturão Orogênico do Atlântico”, Unidade Morfoescultural do “Planalto Atlântico”, mas especificamente, no Planalto Paulistano/Alto Tietê. Pelo tipo de Dissecção a Fragilidade Potencial é **Alta** em 100% da bacia (verde). Pelo tipo de solo (Cambissolo e Podzólico Vermelho Amarelo) a Fragilidade Potencial é **Alta**.

**Histórico** - A água vem da reservatório Pedro Beicht, formada pelos rios Capivari e Cotia do Peixe. A captação é feita na reservatório da Graça e transportada para a Estação de Tratamento Morro Grande. A produção de 1,2 mil litros de água por segundo abastece cerca de 409 mil habitantes dos municípios de Cotia, Embu, Itapeverica da Serra, Embu-Guaçu e Vargem Grande.

O reservatório Pedro Beicht foi projetado para regularizar a vazão do Rio Cotia com sua descarga dirigida para a barragem da Cachoeira da Graça, que por sua vez vai elevar o nível de água para captação e adução, parte por gravidade e parte por bombeamento, até a Estação de Tratamento de Água Alto Cotia, de propriedade da SABESP.

## RESERVATÓRIO DO GUARAPIRANGA

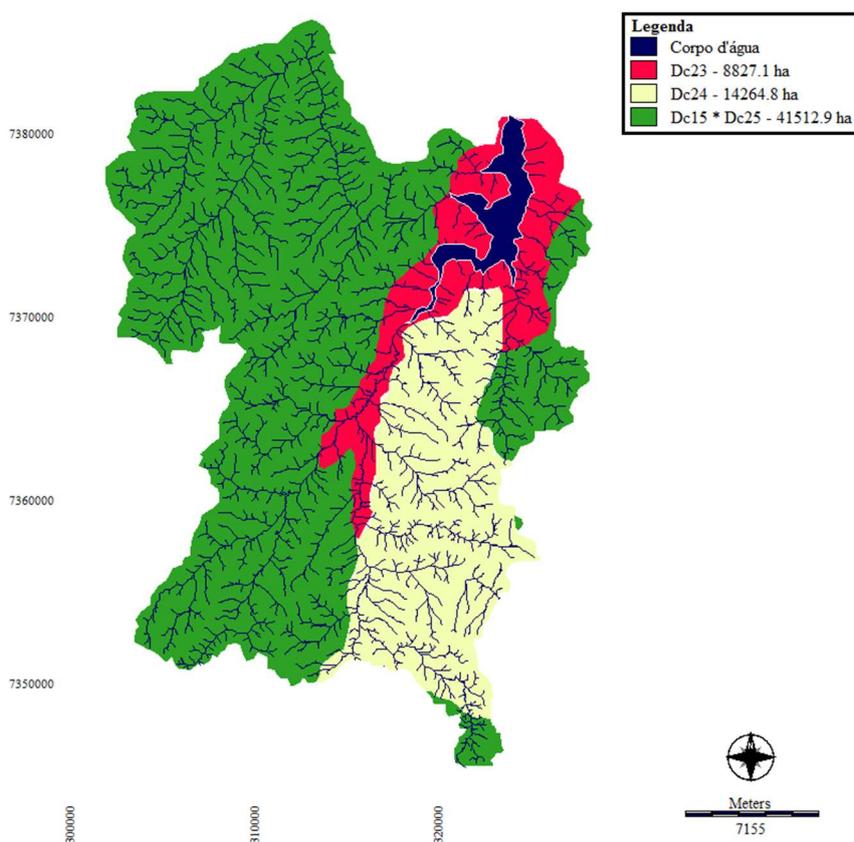


Figura 8.21 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório do Guarapiranga que faz parte da UGRH6

Localizado na Unidade Morfoestrutural do “Bacia Sedimentar Cenozoica/Depressão Tectônica”, Unidade Morfoescultural do “Planalto de São Paulo”, mas especificamente, no Planalto Paulistano/Alto Tietê. Pelo tipo de Dissecção a Fragilidade Potencial é **Media** em 13,7% da bacia (vermelha), é **Alta** em 22,1% da bacia (amarela), e é **Muito Alta** em 64,2% da bacia (verde). Pelo tipo de solo (Cambissolo e Latossolo e Podzólico Vermelho Amarelo) a Fragilidade Potencial é **Alta**.

**Histórico** - A bacia hidrográfica da Guarapiranga ocupa uma área de mais de 630 Km<sup>2</sup> e abrange os municípios de Cotia, Embu, Embu-Guaçu, Juquitiba, Itapeccerrica da Serra, São Lourenço da Serra e São Paulo. Originalmente o reservatório resulta do represamento do Rio Guarapiranga, seus tributários o rio Embu-Guaçu e o rio Embu-mirim, além de outros córregos de menor porte. A sua construção ocorreu entre 1906 e 1908. Em 1928 passou a servir para o abastecimento de água potável.

Fonte: Whately e Cunha (2006).

## COMPLEXO BILLINGS

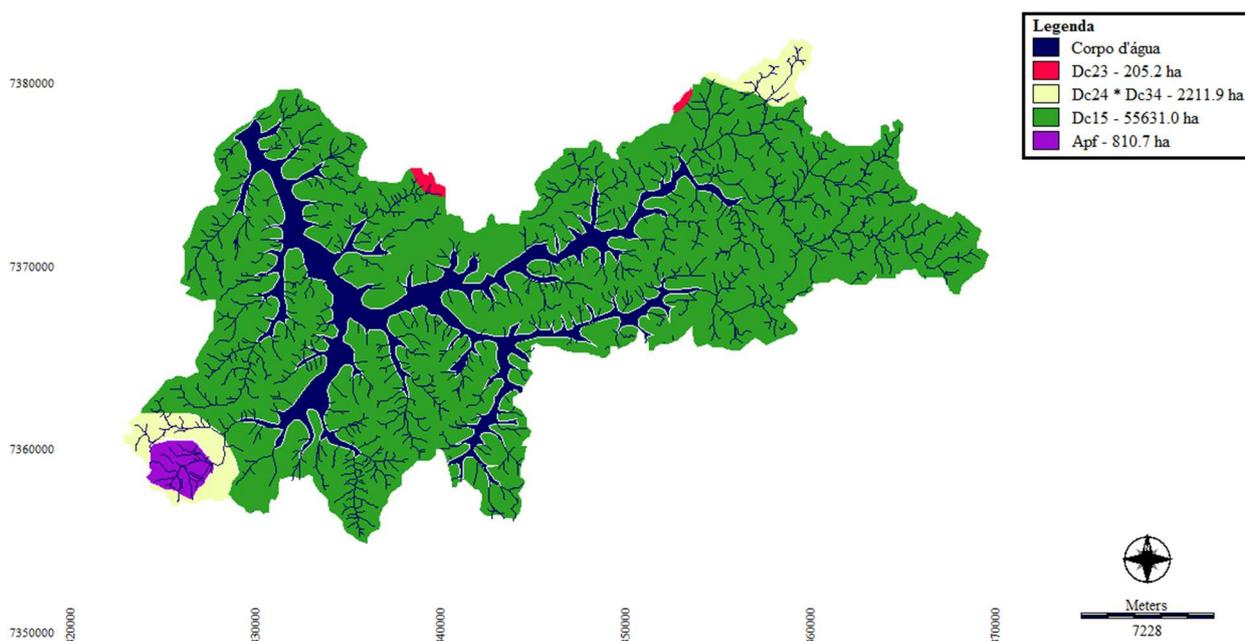


Figura 8.22 - Bacia de captação que inscreve os reservatórios do Complexo Billings que faz parte da UGRH6

Localizado na Unidade Morfoestrutural do “Cinturão Orogênico do Atlântico”, Unidade Morfoescultural do “Planalto Atlântico”, mas especificamente, no Planalto Paulistano/Alto Tietê, Planalto de São Paulo e pequenas Planícies Fluviais. Pelo tipo de Dissecção a Fragilidade Potencial é **Média** em 0,3% da bacia (vermelha), é **Alta** em 94,5% da bacia (verde), é **Muito Alta** em 3,8% (amarela) e 1,4% (roxa). Pelo tipo de solo (Cambissolo e Latossolo e Podzólico Vermelho Amarelo, pequenas planícies fluviais) a Fragilidade Potencial é **Muito Alta**.

**Histórico** - Desde 1923, o engenheiro Asa White Kenney Billings estudava a implantação do “Projeto da Serra”, que visava a geração de energia elétrica aproveitando o desnível da Serra do Mar. Assim, em 1926, entrava em operação a primeira unidade geradora da Usina de Cubatão, hoje chamada de Henry Borden. A partir década de 1930, para o aumento da capacidade de geração da Usina Henry Borden, foram realizadas as obras de retificação e reversão do rio Pinheiros, a formação do reservatório Billings, a construção das usinas elevatórias de Pedreira e de Traição e da barragem reguladora Billings-Pedras.

Fonte: [www.emaee.com.br/conteudo.asp?id=Historico](http://www.emaee.com.br/conteudo.asp?id=Historico)

## RESERVATÓRIO PARAITINGA/SALESÓPOLIS

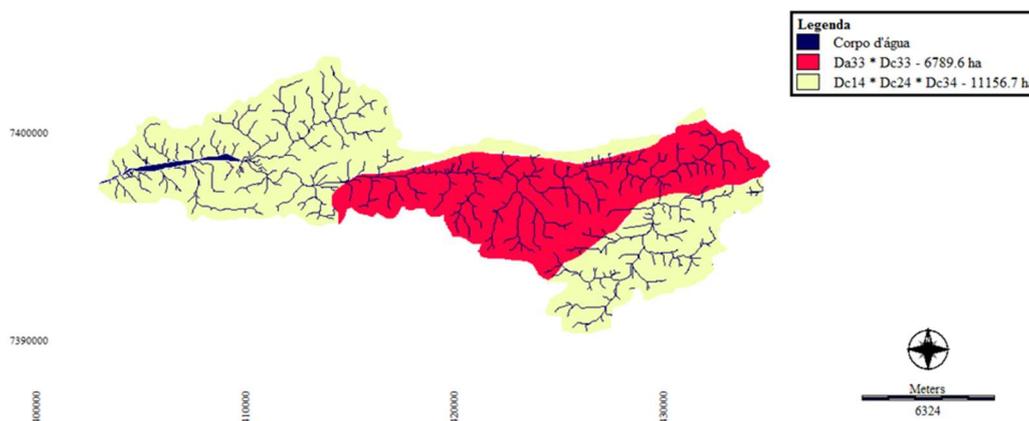


Figura 8.23 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório Paraitinga/Salesópolis que faz parte da UGRH6

Localizado na Unidade Morfoestrutural do “Cinturão Orogênico do Atlântico”, Unidade Morfoescultural do “Planalto Atlântico”, mas especificamente, nos Planaltos Paraitinga/Paraibuna e Paulistano/Alto Tietê. Pelo tipo de Dissecação a Fragilidade Potencial é **Média** em 37,8% da bacia (vermelha) e é **Muito Alta** em 62,2% da bacia (amarela). Pelo tipo de solo (Cambissolos, Litólicos e Podzólicos Vermelho Amarelo) a Fragilidade Potencial é **Muito Alta**.

**Histórico** - Cinco reservatórios: Ponte Nova no Município de Salesópolis (1971), Jundiá em Mogi das Cruzes (1989), Taiapuê na divisa de Mogi das Cruzes e Suzano (2008), Biritiba em Biritiba – Mirim (2001) e Paraitinga em Salesópolis (2003), compoem um sistema em cascata que fornece água bruta para a ETA – Estação de Tratamento de Águas da SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, localizada no reservatório de Taiapuê.

O sistema é composto pelos reservatórios de Ponte Nova e Paraitinga, que escoam pelo rio Tietê até as proximidades da foz do rio Biritiba, de onde são parcialmente derivadas para uma Estação Elevatória. As águas são recalçadas até o túnel de interligação Tietê/Biritiba, a partir do qual todo o escoamento é feito por gravidade, passando por um canal até atingir um braço do reservatório de Biritiba, e através de sistema canal-túnel-canal alimenta o reservatório de Jundiá, que por sua vez, através de canal-túnel-canal, sempre por gravidade, vai alimentar o reservatório de Taiapuê, onde finalmente é feita a captação pela SABESP.

Fonte: [www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com\\_content&id=856:barragens](http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&id=856:barragens)

## RESERVATÓRIO BIRITIBA MIRIM

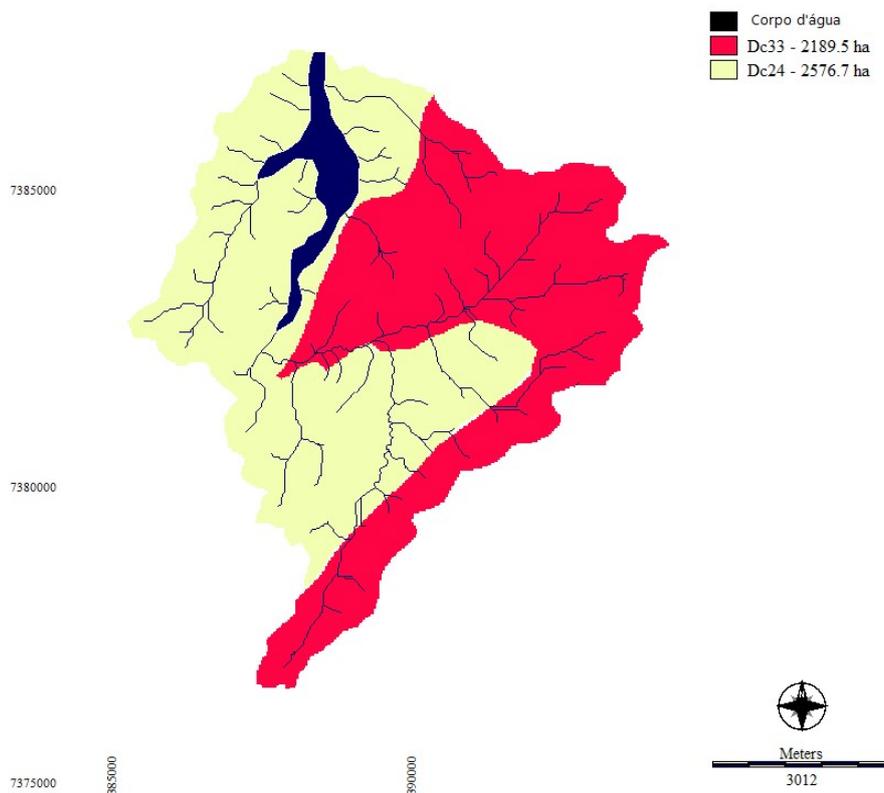


Figura 8.24 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório Biritiba Mirim que faz parte da UGRH6

Localizado na Unidade Morfoestrutural do “Cinturão Orogênico do Atlântico”, Unidade Morfoescultural do “Planalto Atlântico”, mas especificamente, nos Planaltos Paraitinga/Paraibuna e Paulistano/Alto Tietê. Pelo tipo de Dissecação a Fragilidade Potencial é **Média** em 45,9% da bacia (vermelha) e é **Muito Alta** em 54,1% da bacia (amarela). Pelo tipo de solo (Cambissolo, Litólicos e Podzólico Vermelho Amarelo) a Fragilidade Potencial é **Muito Alta**.

## RESERVATÓRIO DE PONTE NOVA

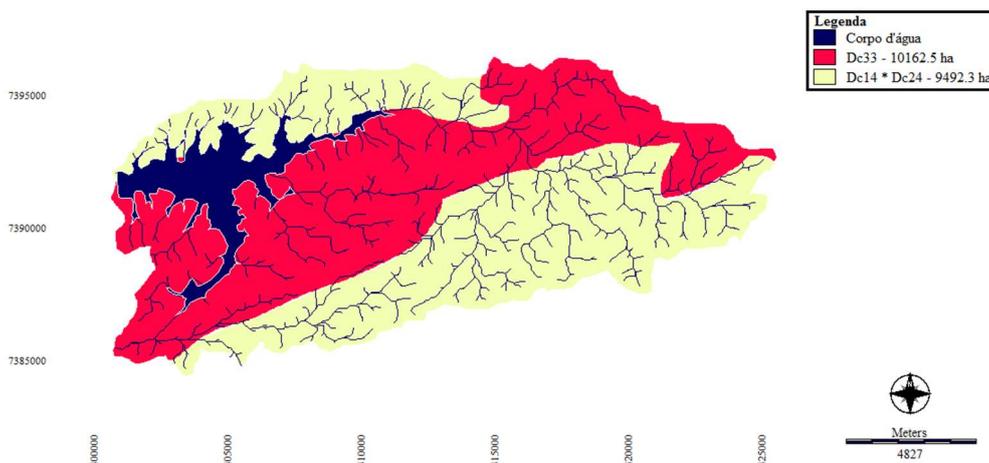


Figura 8.25 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório de Ponte Nova que faz parte da UGRH6

Localizado na Unidade Morfoestrutural do “Cinturão Orogênico do Atlântico”, Unidade Morfoescultural do “Planalto Atlântico”, mas especificamente, nos Planaltos Paraitinga/Paraibuna e Paulistano/Alto Tietê. Pelo tipo de Dissecção a Fragilidade Potencial é **Média** em 51,7% da bacia (vermelha) e é **Muito Alta** em 48,3% da bacia (amarela). Pelo tipo de solo (Cambissolo, Litólicos e Podzólico Vermelho Amarelo) a Fragilidade Potencial é **Muito Alta**.

## RESERVATÓRIO DE TAIÇUPEBA

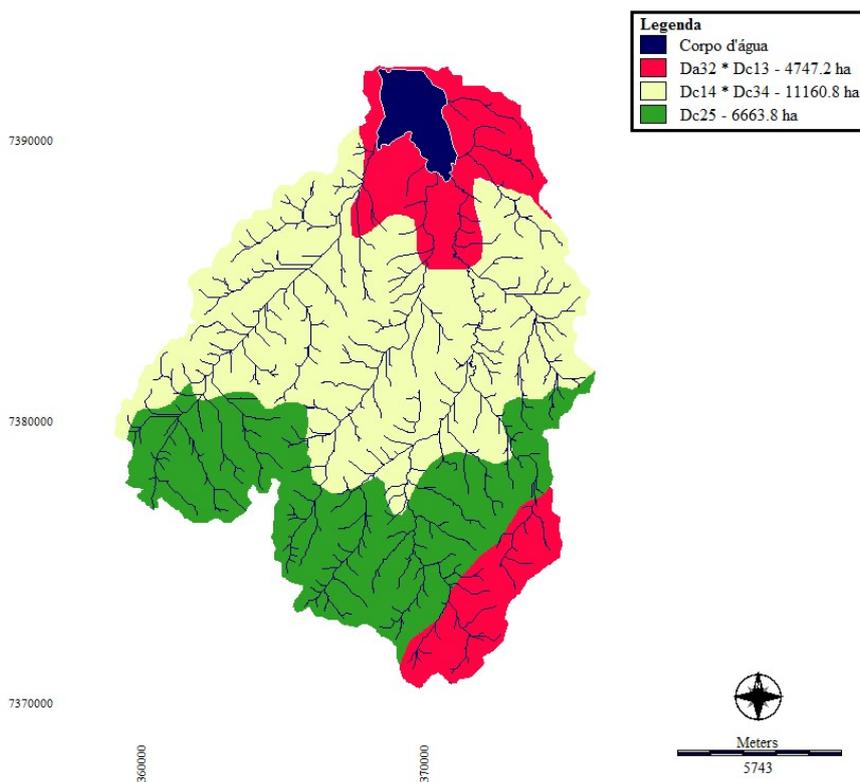


Figura 8.26 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório de Taiçupeba que faz parte da UGRH6

Localizado na Unidade Morfoestrutural do “Cinturão Orogênico do Atlântico”, Unidade Morfoescultural do “Planalto Atlântico”, mas especificamente, nos Planaltos de São Paulo e Paulistano/Alto Tietê. Pelo tipo de Dissecação a Fragilidade Potencial é **Média** em 21,0% da bacia (vermelha), é **Alta** em 29,5% da bacia (verde), e é **Muito Alta** em 29,5% da bacia (amarela). Pelo tipo de solo (Cambissolo, Litolico e Podzólico Vermelho Amarelo) a Fragilidade Potencial é **Alta**.

## RESERVATÓRIO JUNDIAÍ MIRIM

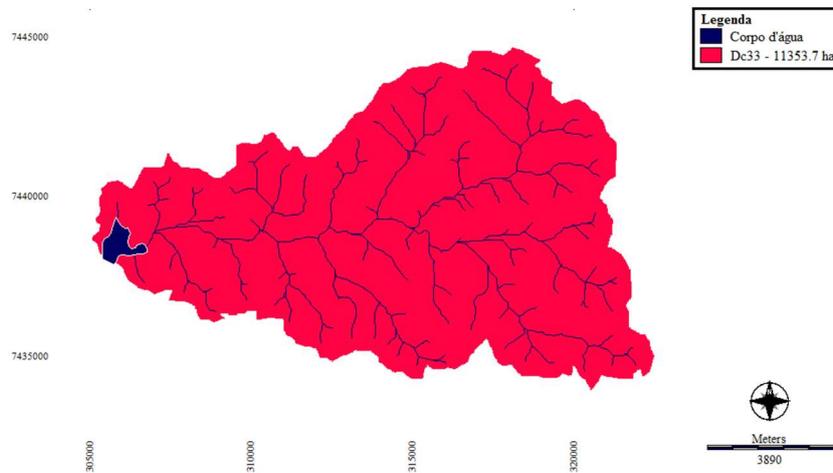


Figura 8.27 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório Jundiá Mirim que faz parte da UGRH5

Localizado na Unidade Morfoestrutural “Bacia Sedimentar do Paraná”, na Unidade Morfoescultural “Depressão Periférica Paulista” mais especificamente na Depressão Moji Guaçu, Planalto de Jundiá, e Planalto e Serra da Mantiqueira. Pelo tipo de Dissecação a Fragilidade Potencial é **Média**. Pelo tipo de solo (Cambissolo, Latossolo e Podzólico Vermelho Amarelo, Litólico, com afloramento Rochosos) a Fragilidade Potencial é **Muito Alta**.

## RESERVATÓRIO RIBEIRÃO DO CAMPO

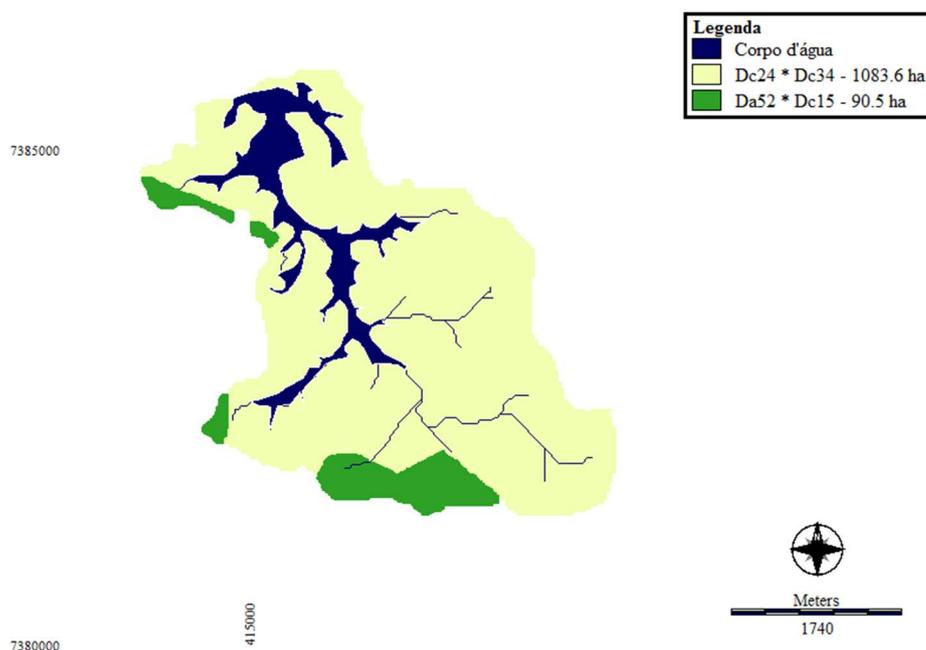


Figura 8.28 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório Ribeirão do Campo que faz parte da UGRH6

Localizado na Unidade Morfoestrutural do “Cinturão Orogênico do Atlântico”, Unidade Morfoescultural do “Planalto Atlântico”, mas especificamente, nos Planaltos Paraitinga/Paraibuna e Paulistano/Alto Tietê, bem como Escarpa/Serra do Mar e Morros Litorâneos. Pelo tipo de Dissecção a Fragilidade Potencial é **Alta** em 7,7% da bacia (verde) e é **Muito Alta** em 92,3% da bacia (amarela). Pelo tipo de solo (Cambissolo, Litólicos e Podzólico Vermelho Amarelo) a Fragilidade Potencial é **Muito Alta**.

**Histórico** - Inaugurada no ano de 1932 no rio Claro, um afluente do rio Tietê, pertence a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e faz parte do Sistema Rio Claro para o abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo. O sistema Rio Claro é composto pelo Represa Ribeirão do Campo e pela Estação de Tratamento de Água Casa Grande, recebendo também água proveniente da transposição do Rio Guaratuba. O sistema está localizado nos municípios de Biritiba Mirim e Salesópolis, 70 km a leste da cidade de São Paulo, numa Área de Proteção a Mananciais de propriedade da Sabesp, possuindo água de excelente qualidade.

Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Represa\\_Ribeirão\\_do\\_Campo](https://pt.wikipedia.org/wiki/Represa_Ribeirão_do_Campo)

## RESERVATÓRIO DO LOBO OU DO BROA

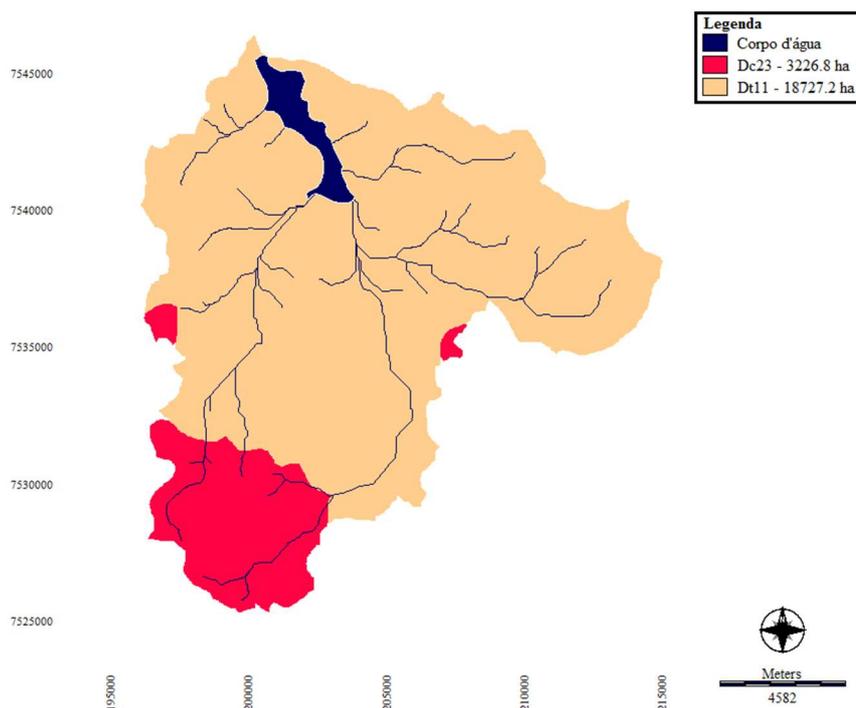


Figura 8.29 - Bacia de captação que inscreve o Reservatório do Lobo ou do Broa que faz parte da UGRH13

Localizado na Unidade Morfoestrutural da “Bacia Sedimentar do Paraná”, e Unidade Morfoescultural do “Planalto Ocidental Paulista”, mais especificamente, nos Planaltos Centro Ocidental e Residual de São Carlos. Pelo tipo de Dissecção a Fragilidade Potencial é **Baixa** em 85,3 da bacia (mostarda) e **Média** em 14,7% da bacia (vermelha). Pelo tipo de solo (Latosolos e Podzólico Vermelho Amarelo) a Fragilidade Potencial é **Baixa**.

**Histórico** - A represa do Broa, ou represa do Lobo, no rio do Lobo está localizada no município de Itirapina, estado de São Paulo. A bacia hidrográfica do reservatório do Lobo é originada pela captação artificial dos ribeirões Lobo e Itaqueri, e pelos córregos do Geraldo e das Perdizes. A represa foi construída como reservatório para a Usina Hidrelétrica do Lobo, inaugurada em 1936.

O rio do Lobo é um rio brasileiro do estado de São Paulo. Nasce e corta o município de Brotas, é o rio principal na formação da represa do Broa, e faz parte da bacia hidrográfica do Rio Jacaré-Guaçu. Na sua junção com o ribeirão Feijão, formam a nascente do rio Jacaré-Guaçu na divisa dos municípios de Itirapina com São Carlos. No seu curso, próximo à divisa com o município de Brotas está a Represa do Broa, local turístico e reservatório da Usina Hidrelétrica do Lobo-Broa.

Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Rio\\_do\\_Lobo](https://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_do_Lobo)

## Considerações Finais

Os Mapas das 25 bacias (Figuras de 8.5 a 8.29), com a classificação da Fragilidade Potencial pelo tipo de Dissecação, estão resumidos na Tabela 8.2.

Tabela 8.2 - As bacias dos Reservatórios e sua Fragilidade Potencial pelo tipo de Dissecação

Reservatórios	Fragilidade Potencial
Lobo ou do Broa	Baixa
Graminha ou Caconde e Jundiá Mirim	Média
Armando de Salles Oliveira ou Limoeiro	entre Baixa e Média
Salto Grande	entre Baixa e Muito Alta
Paraibuna e Santa Branca	entre Média e Alta
Jaguari/Igaratá, Euclides da Cunha, Jaguari/Jacarei, Cachoeira, Atibainha, Juqueri/Paiva Castro, Pirapora do Bom Jesus, Guarapiranga, Complexo Billings, Taiaçupeba, Biritiba Mirim, Ponte Nova, Paraitinga/Salesópolis	entre Média e Muito Alta
Cachoeira da Graça e Pedro Beicht	Alta
Cabuçu, Rasgão e Ribeirão do Campo	Muito Alta

Com base no apresentado anteriormente, para a Fragilidade Potencial pelo tipo de Solo, das 25 bacias estudadas (Tabela 8.3), os Reservatórios do Lobo e Armando de Salles Oliveira apresentam uma Fragilidade Potencial **Baixa**, já o Reservatório do Rasgão que tem Fragilidade Potencial **Média**, mas as demais bacias apresentam fragilidades **Alta** ou **Muito Alta**.

Tabela 8.3 - Fragilidade Potencial por reservatórios

Reservatórios	UGRH	Solos Dominantes	Fragilidade Potencial
Jaguari/Igaratá	2	Cambissolos, litólicos e afloramento rochosos	Muito Alta
Santa Branca	2	Cambissolos e litólicos	Muito Alta
Paraibuna	2	Cambissolos e litólicos	Muito Alta
Armando de Salles Oliveira ou Limoeiro	4	Latossolos Vermelho Amarelo e Vermelho Escuro, Podzólicos Vermelho Amarelo	Baixa
Euclides da Cunha	4	Podzólicos Vermelho Amarelo	Alta
Graminha ou Caconde	4	Podzólicos Vermelho Amarelo	Alta
Salto Grande	5	Cambissolos, Latossolo Vermelho Amarelo	Alta
Jundiá Mirim	5	Cambissolos, litólicos, afloramento rochosos, Latossolo Vermelho Amarelo e Podzólicos Vermelho Amarelo	Muito Alta
Jaguari/Jacarei	5	Cambissolos, litólicos, afloramento rochosos e Podzólicos Vermelho Amarelo	Muito Alta
Cachoeira	5	Cambissolos, litólicos, afloramento rochosos, Latossolo Vermelho Amarelo e Podzólicos Vermelho Amarelo	Muito Alta
Atibainha	5	Cambissolos, litólicos, afloramento rochosos, Latossolo Vermelho Amarelo e Podzólicos Vermelho Amarelo	Muito Alta
Paiva Castro/Juqueri	6	Cambissolos, litólicos, afloramento rochosos, Latossolo Vermelho Amarelo e Podzólicos Vermelho Amarelo	Muito Alta
Cabuçu	6	Cambissolos, litólicos e afloramento rochosos	Muito Alta
Rasgão	6	Latossolo Vermelho Amarelo e Podzólicos Vermelho Amarelo	Média
Pirapora do Bom Jesus	6	Cambissolos, litólicos e afloramento rochosos	Muito Alta
Cachoeira da Graça	6	Cambissolo e Podzólico Vermelho Amarelo	Alta
Pedro Beicht	6	Cambissolo e Podzólico Vermelho Amarelo	Alta
Guarapiranga	6	Cambissolos, Latossolo Vermelho Amarelo e Podzólicos Vermelho Amarelo	Alta
Complexo Billings	6	Cambissolos, Latossolo Vermelho Amarelo e Podzólicos Vermelho Amarelo com pequenas planícies fluviais	Muito Alta
Taiaçupeba	6	Cambissolo e Podzólico Vermelho Amarelo	Alta
Biritiba Mirim	6	Cambissolos, litólicos, Latossolo Vermelho Amarelo e Podzólicos Vermelho Amarelo	Muito Alta
Ponte Nova	6	Cambissolos, litólicos, Latossolo Vermelho Amarelo e Podzólicos Vermelho Amarelo	Muito Alta
Ribeirão do Campo	6	Cambissolos, litólicos, Latossolo Vermelho Amarelo e Podzólicos Vermelho Amarelo	Muito Alta
Paraitinga/Salinópolis	6	Cambissolos, litólicos, Latossolo Vermelho Amarelo e Podzólicos Vermelho Amarelo	Muito Alta
Lobo ou do Broa	13	Latossolo Vermelho Amarelo e Podzólicos Vermelho Amarelo	Baixa

## REFERÊNCIAS

- ASANTE, K. A.; QUARCOOPOME, T.; AMEVENKU, F. Y. K. Water quality of the Weija Reservoir after 28 Years of impoundment. **West African journal of applied ecology**, v. 13, p. 125-131, 2008.
- BARROS, L. A. A. **Uma história visual da construção do Sistema Cantareira**. [s.l.]: Ed. Autor, 2013. 227 p.
- BIELENKI JÚNIOR, C.; BARBASSE, P. A. **Geoprocessamento e recursos hídricos: aplicações práticas**. São Carlos: EdUFSCAR, 2012. 257 p.
- BITENCOURT, M. D.; MNATELLI, L. R. Análise espacial de parâmetros limnológicos utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento: dois estudos de caso. *In*: POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; NISHIMURA, P. Y.; SILVA, S. C.; LÓPEZ-DOVAL, J. C. (org.) **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015. p. 160-176.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2015. 55 p.
- CATHERINE, A.; MOUILLOT, D.; MALOUFI, S.; TROUSSELLIER, M.; BERNARD, C. Projecting the impact of regional land-use change and water management policies on lake water quality: an application to periurban lakes and reservoirs. **PLoS One**, v. 8, p. 1-11, 2013.
- DAVIES-COLLEY, R.; HICKEY, C.; QUINN, J. Effects of clay discharges on streams. Optical properties and epilithon. **Hydrobiologia**, v. 248, p. 215-234, 1992.
- DODDS, W.; CARNEY, E.; AANGELO, R. T. Determining ecoregional reference conditions for nutrients, secchi depth and chlorophyll a in Kansas Lakes and Reservoirs. **Lake and Reservoir Management**, v. 22, p. 151-159, 2006.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos da limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.
- FORMAN, R. T. T. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 632 p.
- GIBSON, G. R.; CARLSON, R. E.; SIMPSON, J.; SMELTZER, E.; GERRITSEN, J.; CHAPRA, S.; HEISKARY, S.; JONES, J.; KENNEDY, R. **Nutrient criteria technical guidance manual lakes and reservoirs**. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, 2000. EPA-822-B00-001.
- HAY, G. J.; DUBE, P.; BOUCHARD, A.; MARCEAU, D. J. A scale-space primer for exploring and quantifying complex landscapes. **Ecological Modelling**, v. 153, p. 27-49, 2002.
- Hynes, H.B.N. (1975) The stream and its valley. *Verh. Int. Verein. Limnol.* **19**, 1–5.
- JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2006. 592 p.
- JOHNSON, L. B.; GAGE, S. H. Landscape approaches to the analysis of aquatic ecosystems. **Freshwater Biology**, v. 37, p. 113-132, 1997.
- KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: INPE, 2005. p. 2203-2210.
- KIMMERLING, A. J. Geographical information systems and cartography. *In*: SEMINAR ON TEACHING CONVENTIONAL AND DIGITAL MAP PRODUCTION LINES, [s.l.], 1994. **Proceedings [...]**. [s.l.: s.n.], 1994. p. 35-47.
- KIRK, J. T. O. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. 580 p.
- KLING, G. W.; KIPPHUT, G. W.; MILLER, M. M.; O'BRIEN, W. J. Integration of lakes and streams in a landscape perspective: the importance of material processing on spatial patterns and temporal coherence. **Freshwater Biology**, v. 43, p. 477-497, 2000.
- KROGER, S.; LAW, R. J. Sensing the sea. **Trends in Biotechnology**, v. 23, p. 250-256, 2005.
- KUMAZAWA, V. R. **Contribuição ao estabelecimento das tipologias de reservatórios do Estado de São Paulo, conforme Diretiva Quadro da Água (DQA) da Comunidade Europeia: uma abordagem geológica e geomorfológica das bacias**. 2017. 112 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2017.

- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. Minnesota: John Wiley & Sons, 2000. 724 p.
- MAGNUSON, J. J.; KRATZ, T. K. Lakes in the landscape: Approaches to regional limnology. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, v. 27, p. 74–87, 2000.
- MANTELLI, L. R. **Modelagem espectro espaço temporal visando diminuir a incerteza dos monitoramentos de coleções hídricas impactadas: Complexo Billings - Guarapiranga**. 2012. 66 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- MEIRELES, M. S. P.; MOREIRA, F. R.; CÂMARA, G. Técnicas de inferência espacial. In: MEIRELES, M. S. P.; CÂMARA, G.; ALMEIDA, C. M. **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília: Embrapa, 2007. 594 p.
- MENEGUETTE, A. A. C. **Introdução à cartografia**. Presidente Prudente: [s.n.], 1994.
- MOAL, M. L.; GASCUEL-ODOUX, C.; MÉNESGUE, A.; SOUCHON, Y.; ÉTRILLARD, C.; LEVAIN, A.; MOATAR, F.; PANNARD, A.; SOUCHU, P.; LEFEBVRE, A.; PINAY, G. Eutrophication: a new wine in an old bottle? **Science of The Total Environment**, v. 651, n. 1, p. 1-11, 2019.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2010. 388 p.
- PAZ, M.; GASTALDINI, M.; GELLER, R. Comparação da carga difusa em bacia urbana e rural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Santa Maria. **Anais [...]**. Santa Maria: ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003.
- PETTORELLI, N.; LURANCE, W. F.; O'BRIEN, T. G.; WEGMANN, M.; NAGENDRA, H.; TURNER, W. Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. **Journal of Applied Ecology**, v. 51, p. 839-848, 2014.
- POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V. In: POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; NISHIMURA, P. Y.; SILVA, S. C.; LÓPEZ-DOVAL, J. C. (org.). **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/reservatorios/>. Acesso em: outubro de 2018.
- POMPÊO, M. L. M. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros**. São Paulo: Instituto de Biociências – IB/USP, 2017. Disponível em: <http://www.ecologia.ib.usp.br/portal/macrofitas/>. Acesso em: março de 2019.
- PORTO, M. F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: BRAGA, B.; TUCCI, C. E. M.; TOZZI, M. **Drenagem urbana: gerenciamento, simulação, controle**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, p. 387-428. 1998.
- ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, v. esp., p. 38-51, 2012.
- ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 8, p. 63-74, 1994.
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: FFLCH-USP/IPT/FAPESP, 1997. 64 p. + 2 mapas.
- SANTOS, J. O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 75-90, 2015.
- SORANNO, P. A.; WEBSTER, K. E.; CHERUVELIL, K. S.; BREMIGAN, M. T. The lake landscape-context framework: linking aquatic connections, terrestrial features and human effects at multiple spatial scales. **Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie**, v. 30, p. 695-700, 2009.
- SORANNO, P. A.; CHERUVELIL, K. P.; WEBSTER, K. E.; BREMIGAN, M. T.; WAGNER, T.; STOW, C. A. Using landscape limnology to classify freshwater ecosystems for multi-ecosystem management and conservation. **BioScience**, v. 60, p. 440-454, 2010.
- SORANNO, P. A. *et al.* LAGOS-NE: a multi-scaled geospatial and temporal database of lake ecological context and water quality for thousands of US lakes. **GigaScience**, v. 6, n. 12, p. 1-22, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1093/gigascience/gix101>. Disponível em: <https://academic.oup.com/gigascience/article/6/12/gix101/4555226>. Acesso em: julho de 2018.
- TUNDISI, J.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (2011) **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 632 p.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos, INPE, 2004. 72 p. Relatório Técnico do INPE - 10550-RPQ/756.

VERVLOET, R. J. H. M.; ROSS, J. L. S. Associação entre fatos geomórficos e os dobramentos de fundo na evolução de uma rede de drenagem na margem atlântica do planalto brasileiro: o caso da bacia hidrográfica do rio Benevente. **GEOUSP: espaço e tempo**, v. 35, p. 174-191, 2013.

WHATELY, M.; CUNHA, P. (org.). **Seminário Guarapiranga 2006**: proposição de ações prioritárias para garantir água de boa qualidade para abastecimento público. São Paulo: Instituto Pólis, 2006. 171 p.

## LINKS CONSULTADOS

<https://ferdinandodesousa.com/2019/04/12/as-usinas-hidreletricas-de-paraibuna-jaguari-e-santa-branca/>  
[http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com\\_content&id=856:barragens](http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com_content&id=856:barragens)  
<https://www.ana.gov.br/noticias/hidreletricas-de-caconde-e-limoeiro-deverao-reduzir-liberacao-de-agua-ate-30-de-abril>  
[https://pt.wikipedia.org/wiki/Usina\\_Hidrelétrica\\_Euclides\\_da\\_Cunha](https://pt.wikipedia.org/wiki/Usina_Hidrelétrica_Euclides_da_Cunha)  
<https://www.portalcampinas.com.br/2019/03/represa-de-salto-grande-em-americana-e-reclassificada-pela-aneel/>  
<https://santiago-guarulhos.blogspot.com/2012/02/represas-de-guarulhos.html>  
[www.emae.sp.gov.br/rasgao.htm](http://www.emae.sp.gov.br/rasgao.htm)  
[www.emae.com.br/conteudo.asp?id=Historico](http://www.emae.com.br/conteudo.asp?id=Historico)  
[https://pt.wikipedia.org/wiki/Represa\\_Ribeirão\\_do\\_Campo](https://pt.wikipedia.org/wiki/Represa_Ribeirão_do_Campo)  
[https://pt.wikipedia.org/wiki/Rio\\_do\\_Lobo](https://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_do_Lobo)  
[http://site.sabesp.com.br/site/muitoalemdaagua/download/metropole\\_e\\_suas\\_aguas.pdf](http://site.sabesp.com.br/site/muitoalemdaagua/download/metropole_e_suas_aguas.pdf)

# CAPÍTULO 9



# CONSIDERAÇÕES FINAIS: SUGESTÕES E PERSPECTIVAS

Marcelo Pompêo

Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo

## Considerações finais: sugestões e perspectivas

Como pode ser observado ao longo dos capítulos que precederam, há sólida base de dados relativos à qualidade das águas e sedimentos dos reservatórios estudados, mas que também pode ser estendido para a maioria dos reservatórios paulistas. Cardoso *et al.* (2013) apontaram que no Estado de São Paulo há inúmeros grupos de pesquisa em diversas universidades e institutos de pesquisas que trabalham com a temática 'água' (biólogos, engenheiros, ecólogos, entre outros profissionais). Deste modo, a base de dados relativo aos estudos em reservatórios e rios paulistas, levantados por estes inúmeros centros de pesquisas, por experientes especialistas e de diversas áreas de atuação, permite que sejam compreendidos quais são os principais problemas de qualidade que atingem os reservatórios em especial. Mas estes mesmos especialistas e seus dados levantados, de modo intencional ou não, também oferecem subsídios que permitem discutir quais as melhores soluções de controle e de remediação aplicar, quando necessárias (POMPÊO, 2017). Mas mesmo assim, no caso paulista, nem sempre são aplicadas soluções sustentáveis e ambientalmente amigáveis. Nos reservatórios do Estado ainda são realizadas sólidas aplicações de sulfato de cobre pentahidratado como algicida, para o controle do crescimento de algas, em especial de cianobactérias, que para alguns reservatórios é da ordem de 300/500 toneladas ao ano só para o sulfato (POMPÊO, *op. cit.*). No entanto, estas aplicações do algicida têm sobremaneira comprometido a qualidade dos sedimentos de inúmeros reservatórios paulistas (LEAL *et al.*, 2018). Soma-se que também há grande defasagem na coleta e tratamento dos esgotos gerados, o que agrava o processo de eutrofização. Este excesso de nitrogênio e fósforo originários dos esgotos maltratados ou lançados *in natura*, é a principal mola propulsora do crescimento fitoplanctônico e, em consequência, das rotineiras e constantes aplicações do algicida, num ciclo vicioso de mais de 40 anos de aplicações de sulfato para o reservatório Guarapiranga e o braço Rio Grande, da Billings, por exemplo.



Como apontado por Leal *et al.* (2018), nestes mais de 40 anos de aplicações, os valores empenhados nas compras dos algicidas, transportes e aplicações no Guarapiranga se equivalem aos recursos financeiros necessários para se comprar um terreno, nele instalar uma estação de tratamento de esgoto (ETE) para tratar o esgoto equivalente a um milhão de pessoas e operá-la pelo mesmo período de uso dos algicidas, ou seja, mais de 40 anos. Neste estudo os autores também consideraram os valores empregados para o peróxido de hidrogênio, também utilizado como algicida nesse reservatório. Deste modo, mesmo do ponto de vista meramente financeiro as aplicações de algicidas não podem ser consideradas um instrumento de manejo barato. Soma-se o fato de o cobre impactar o sedimento (Figura 9.1), o que interfere em outros usos do reservatório, que também impacta negativamente na geração de mais emprego e renda na região. Para um período de 43 anos de aplicações de sulfato de cobre, Leal *et al.* (*op. cit.*) estimou um estoque total de cobre presente no sedimento do reservatório Guarapiranga, originário das constantes aplicações, da ordem de 4530 toneladas. Supondo que nesse reservatório sejam aplicadas 400 toneladas de sulfato de cobre ao ano, por 43 anos, representando o elemento cobre 25% dessa massa, ao todo teríamos um estoque estimado de 4300 toneladas só para o cobre.

Brevemente comemoraremos 50 anos do início das aplicações de sulfato de cobre nos reservatórios paulistas. Todos estes anos de aplicações constantes e rotineiras em hipótese alguma podem ser considerados como um sucesso, mas sim como um grande descompasso do sistema de gestão da qualidade das águas e sedimentos. A continuidade destas aplicações por cinquenta anos significa que não foi buscada alternativa menos comprometedora para a qualidade das águas e dos sedimentos, e que nesse período também não foi alterada a maneira de se pensar o manejo dos reservatórios paulistas, em busca da sustentabilidade e da garantia dos serviços ecossistêmicos. Apesar desse histórico, este exemplo paulista foi utilizado como modelo para todo o Brasil, culminando na redação da Resolução CONAMA 467, de 17 de julho de 2015, que dispõe sobre os critérios para a autorização de uso de produtos ou de agentes de processos físicos, químicos ou biológicos em corpos hídricos superficiais para controle da poluição e do crescimento desordenado ou indesejável de organismos da flora e da fauna e dá outras providências (*apud* POMPÊO, 2017). Entre as providências permitidas por esta Resolução, a principal delas é a liberalização para aplicações de compostos químicos, como o sulfato de cobre e o peróxido de hidrogênio, mas desta vez para todas as massas de águas brasileiras, em detrimento de alternativas menos prejudiciais ao meio ambiente e mesmo antes de se considerar a coleta e tratamento dos esgotos, cujos nutrientes lançados são os principais motores do crescimento fitoplanctônico, como já comentado.



Vale lembrar que a partir de meados de 2014 a grande São Paulo passou por inúmeros problemas no abastecimento público, com drásticas reduções nos níveis de água dos reservatórios. Decorrente disso, as empresas responsáveis proporcionaram sucessivos cortes ou redução de pressão, culminando na menor oferta de água potável, afetando sobremaneira a população. O problema foi parcialmente sanado após o acesso às águas dos volumes mortos dos reservatórios e da construção emergencial de inúmeras transposições de águas entre bacias. Agora, no início de 2020, problema no abastecimento público também foi enfrentado pela população do Rio de Janeiro, neste caso decorrente da redução da qualidade da água, com a presença de geosmina, conferindo odor e sabor a água tratada, somada a grande turbidez. Em São Paulo, ao menos desde 2005, quando ocorreu outro período de drástica redução na oferta, sabia-se que estava no limite da demanda, e desde então pouco foi realizado para aumentar a disponibilidade de água até a crise de 2014. Já no Rio de Janeiro, a oferta de água com qualidade para 9 milhões de pessoas foi comprometida na Estação de Tratamento de Água (ETA) Guandu, pois até então não possuía eficiente sistema de tratamento para a remoção da geosmina e da turbidez, como observado em algumas ETAs paulistas. Também no Rio de Janeiro, há relato de que em outros anos ocorreram episódios de grande crescimento de cianobactérias na água bruta, o que também impactou a qualidade da água tratada ofertada. Em ambos os casos, no Rio de Janeiro e em São Paulo, o significativo impacto sobre a população deixou claro que as tomadas de decisões não tiveram como principal foco a garantia dos serviços oferecidos, isto é, água em quantidade para São Paulo e de qualidade para a cidade do Rio de Janeiro. Na tentativa de solucionar estes problemas nas cidades de São Paulo e do Rio de Janeiro, os governantes apostam na privatização dos serviços de saneamento ao invés de mudar o *modus operandi* das empresas de economia mista, responsáveis pela coleta e tratamento de águas desses grandes centros urbanos, investindo no saneamento básico. Podemos dizer que para o restante do Brasil o modo de gerir o saneamento não difere do praticado nestas cidades, visto que há extrema defasagem no saneamento público em todo o país.

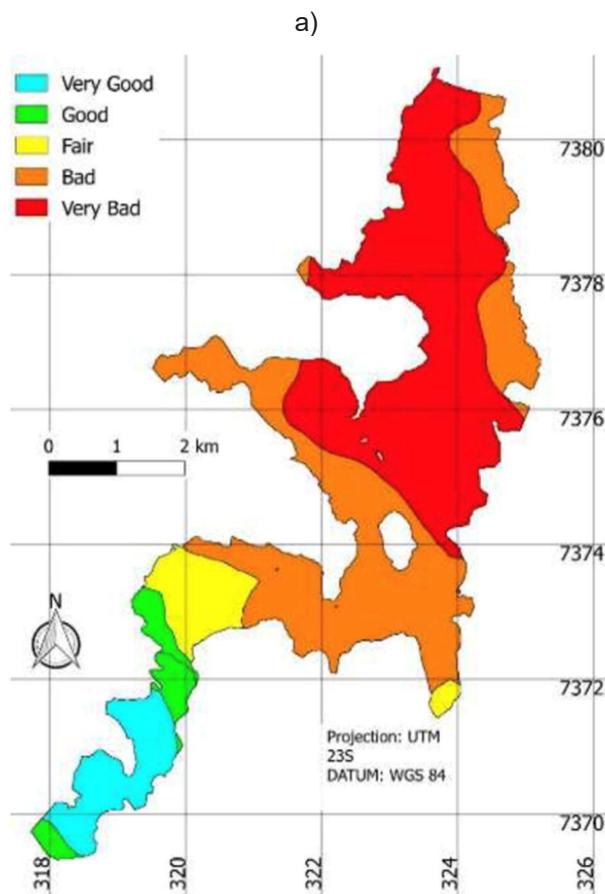
Mas parte da culpa por estes quase 50 anos de aplicações de algicidas em alguns dos reservatórios de São Paulo, também recai sobre a população em geral. Esta não se mobilizou o suficiente para compreender o que se passa e deste modo, também não conseguiu impedir que estes reservatórios atingissem elevados níveis de comprometimento de sua qualidade. Independente de tudo, ainda assim continuam a ser empregados para o abastecimento público e suas águas, agora tratadas, entregues em nossas casas. Na Espanha, nem mesmo um pequeno barco com motor de popa de poucos HP, mas movido a gasolina, poderá circular em reservatórios empregados no abastecimento público. Já aqui, há uma liberalização generalizada, com poucos controles sobre os usos do entorno e os usos do próprio reservatório. Reforçando o quadro descrito acima, quando comparamos reservatórios com constantes aplicações de sulfato de cobre, é possível observar que a qualidade de seu sedimento superficial reflete as concentrações de cobre em níveis de toxicidade, como observado nos reservatórios Guarapiranga (Leal *et al.*, 2018) e no braço Rio Grande (Figura 9.2a). Já para reservatório que não apresenta histórico de aplicações de sulfato de cobre, como o de Itapararanga (Ibiúna, SP) (Figura 9.2b), os níveis de cobre estão próximos ao *background* e os níveis de toxicidade são mínimos para cobre.

Deste modo, é urgente repensar os princípios que regem a gestão da qualidade das águas aplicados no Estado de São Paulo, passando a priorizar a coleta e o tratamento dos esgotos, primeiramente definindo em plano diretor um prazo exequível de no máximo 20 anos para contemplar a universalização da coleta em todo Estado e de 30 anos da universalização do tratamento dos esgotos, com ao menos tratamento terciário. Além disso, no curtíssimo prazo é necessário rapidamente reduzir a zero as aplicações de sulfato de cobre, priorizando as ações de coleta e tratamento nas regiões que lançam esgotos nos reservatórios que passam por constantes aplicações de algicidas e são empregados no abastecimento público. Mas é possível estender estas sugestões para todas as grandes cidades brasileiras.

No Quadro 9.I a seguir, são apresentadas algumas sugestões que visam contribuir na solução dos problemas de qualidade das águas e sedimentos de reservatórios, em particular os paulistas. Como apresentado pelo autor, são sugestões factíveis tecnicamente e financeiramente, nada absurdamente difícil ou fora das expertises dos técnicos e especialistas brasileiros e paulistas.

Complementando o discutido no Quadro 9.I, só saberemos que haverá sucesso nas aplicações de políticas públicas que de fato venham a melhorar a qualidade de nossas águas,

quando não mais forem empregados algicidas, principalmente o sulfato de cobre para o controle rotineiro do crescimento de algas, por exemplo. Complementam esse sucesso, a universalização da coleta e tratamento dos esgotos em sólidas ETEs. Além disso, o sucesso só será atingido quando o parecer técnico prevalecer sobre a decisão meramente política e financeira e muitas vezes nada republicana, desconectada dos pareceres técnicos, e também quando as estruturas que cuidam do monitoramento e controle estejam ativas e sólidas, mas acompanhadas de perto por órgãos independentes. Também é fundamental que o plano diretor não seja desmontado e descontinuado a cada novo gestor. Como já comentado, técnicos na área e de excelente nível o Brasil forma. Dinheiro não é o problema central, já que o uso de algicidas e a operação de ETEs no tempo se equivalem. Mas há necessidade da existência de mecanismos de controle, com transparência e sólida participação popular nas tomadas de decisões, como sugerido por Pompêo (2017). Sem transparência e a participação popular o controle externo fica significativamente comprometido, o que dificultará acompanhar o que se faz e porque se faz, também não contribuindo nas alterações de rumos, sempre que necessário.



b)

IES: Classes	Limites/Intervalos	Potencial Ecotox.
Excellent	$0 \mu\text{g}/\text{Kg}_{(\text{sedimento seco})} \leq [M] < \text{VRR}$	Region with minimal ecotox. potential. Basal Concentrations
Good	$\text{VRR} \leq [M] < \text{ISQL}$	Region with possible anthropic contamination, but with little to improbable ecotox. activity
Regular	$\text{ISQL} \leq [M] < \text{PEL}$	Region with anthropogenic contamination, of unknown ecotox. activity, and medium occurrence probability
Bad	$\text{PEL} \leq [M] < 10 \cdot \text{PEL}$	Region with high ecotox. activity, and high occurrence probability
Terrible	$10 \cdot \text{PEL} \leq [M] < + \infty$	Region with maximum ecotox effect, and maximum occurrence probability.

Figura 9.1 - Potencial de toxicidade do sedimento superficial do reservatório Guarapiranga, com base nas concentrações de cobre e nos critérios apresentados em (b), segundo Leal *et al.* (2018)

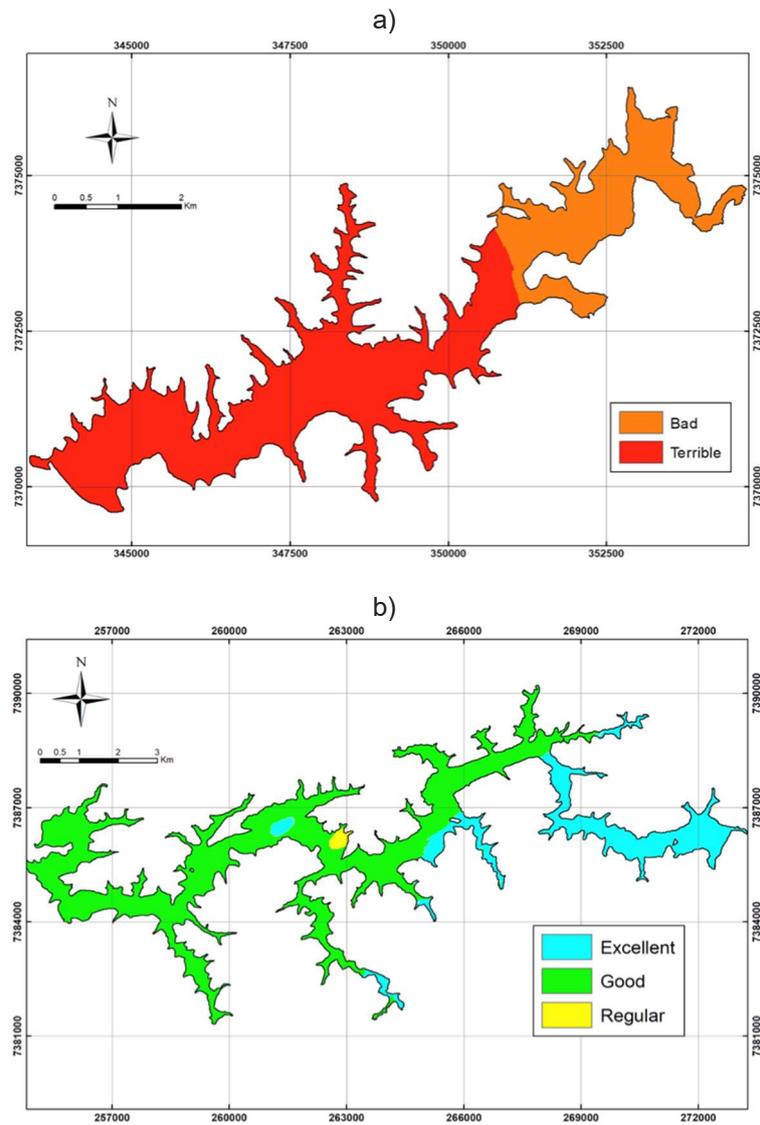


Figura 9.2 - Potencial de toxicidade do sedimento superficial do braço rio Grande (reservatório Billings) e do de Itapararanga, com base nas concentrações de cobre e nos mesmos critérios empregados por Leal *et al.* (2018). Segundo Marcelo Pompêo, dados não publicados



## Quadro 9.I - Agrotóxico na água não é novidade, mas há outros compostos que também preocupam (1)

Escrito por Marcelo Pompêo

Recentemente uma matéria jornalística repercutiu importantes informações sobre problemas na qualidade da água bruta envolvendo agrotóxicos, também preocupada com a grande liberação de novos agrotóxicos no Brasil em curso em 2019 e a eventual potencialização da degradação da qualidade de nossos mananciais com estes novos compostos lançados nos cursos de água (1). Há de fato inúmeros problemas relacionados à qualidade da água bruta no Brasil empregadas para o consumo humano e, como apontado na matéria, o agrotóxico é um dos compostos responsáveis pelo aumento da degradação de sua qualidade. Mas há também preocupações com nitrogênio e fósforo (2), cianotoxinas (3), metais (4), drogas ilícitas, como cocaína, ou mesmo com remédios diversos e hormônios (5), e mais recentemente com nano-partículas (6) e plásticos (7). Para nitrogênio, fósforo, cianotoxinas e metais o tema a mais tempo é debatido e também mais estabelecido. Para minimizar o impacto desses compostos na qualidade da água bruta e na saúde pública há soluções. Primeiro, controlar os usos dos espaços, pois não se deve permitir qualquer uso em qualquer microbacia, já que o descontrole no uso potencializa o comprometimento na qualidade da água. Em conjunto, deveria ser realizado o monitoramento da qualidade da água bruta, com ampliação do número de compostos que hoje se estuda e tem avaliado sua concentração. Complementam os estudos, testes de toxicidade com organismos, a ser realizado no laboratório bem como em campo, no próprio manancial, o que de fato comprovará a toxicidade potencial desses compostos em situação de campo. Neste caso, é necessário alterar a legislação vigente para ampliar a lista dos compostos que hoje são monitorados e dos testes de toxicidade com organismos que também são realizados, já que muitos dos compostos listados acima, apesar de sua toxicidade potencial conhecida, não são contemplados no monitoramento oficial. Concomitantemente, baseado em estudos de campo, é também fundamental proteger e conservar o manancial considerado em bom estado e manejar e recuperar aquele manancial que hoje se apresenta em pior qualidade (8). Meios para se fazer isso existem. Deve-se também coletar e tratar o esgoto de modo adequado, conforme a carga e qualidade do esgoto gerado, para que este atinja nível de qualidade de lançamento que minimamente comprometa o manancial. Isto implica na ampliação do que hoje se pratica de modo rotineiro nas estações de tratamento de esgoto (ETEs), com aplicações de técnicas mais sofisticadas, como as terciárias e quaternárias, mas normalmente mais custosas. Mas a quantidade de ETEs também deve ser ampliada em número para se atingir a universalidade no tratamento de esgoto no Brasil, hoje muitíssimo aquém do adequado (9). Esse conjunto de ações (disciplinar, monitorar, manejar, tratar e universalizar) se bem planejados e executados, sem dúvida contribuirão para minimizar e reverter a degradação da qualidade de nossas águas, com sustentabilidade, além de reduzir riscos de contaminações e de doenças. Há histórico de sucesso no Brasil (10). No entanto, caso a gestão dos recursos hídricos siga como hoje executado, no futuro não haverá o que comemorar e esperar melhora na qualidade da água e do sedimento de nos nossos mananciais, pelo contrário, seguiremos jogando e contaminando nossos rios e reservatórios com agrotóxicos, remédios, drogas, metais e outros novos compostos produzidos pelo homem, contribuindo para o aumento da degradação do meio ambiente como um todo. Cabe ao poder público as ações para na prática cuidar do manancial, da água bruta, e de instalar ETEs, bem como realizar todas as análises e testes necessários, atestando a qualidade da água bruta para o uso humano, quando comparado com padrões internacionalmente aceitos. Mas também cabe a todos fiscalizar e cobrar ações da prefeitura e do estado, visando garantir os interesses e a saúde da população. Vale reforçar que a presença desses compostos nas águas brutas abre a possibilidade real de suas presenças nas águas entregues em nossas torneiras, como já detectados (11), o que deve ser evitado a todo custo, decorrente das incertezas de seus efeitos na saúde humana no longo prazo, mesmo em baixíssimas concentrações.

## Referências

- 1 - Falhas, omissão e jogo de empurra escondem presença de agrotóxicos na água  
<https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/reporter-brasil/2019/10/07/falhas-omissao-e-jogo-de-empurra-escondem-presenca-de-agrotoxicos-na-agua.htm>
  - 2 - Compartimentalização e qualidade da água: o caso da Represa Billings  
<http://periodicos.puc-campinas.edu.br/seer/index.php/bioikos/article/viewFile/2522/1864>
  - 3 - Cianobactérias/cianotoxinas: Procedimentos de coleta, preservação e análise  
<https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2015/janeiro/19/cianobacterias-cianotoxinas-2...pdf>
  - 4 - Avaliação da composição química de águas do Sistema Guarapiranga: estudo de caso nos anos de 2002 e 2003  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422007000500018&lng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000500018&lng=en)
- Impact of copper sulfate application at an urban Brazilian reservoir: A geostatistical and ecotoxicological approach  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717317990>
- Biodisponibilidade de metais no sedimento de um reservatório tropical urbano (reservatório Guarapiranga – São Paulo (SP), Brasil): há toxicidade potencial e heterogeneidade espacial?  
<https://geobrasiliensis.emnuvens.com.br/geobrasiliensis/article/view/364>
- 5 - Ecological and toxicological responses in a multistressor scenario: Are monitoring programs showing the stressors or just showing stress? A case study in Brazil  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715301431>
- Occurrence of cocaine and benzoylecgonine in drinking and source water in the São Paulo State region, Brazil  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971632263X>

<sup>1</sup> Publicado em <http://www.correiocidadania.com.br/meio-ambiente/13908-agrotoxico-na-agua-nao-e-novidade-mas-ha-outros-compostos-que-tambem-preocupam>

Anthropogenic contaminants of high concern: Existence in water resources and their adverse effects

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719331651>

6 - Nanoparticles: Environmental problems or problem solvers?

<https://academic.oup.com/bioscience/article/68/4/241/4915956>

7 - Microplastic pollution revealed 'absolutely everywhere' by new research

<https://www.theguardian.com/environment/2019/mar/07/microplastic-pollution-revealed-absolutely-everywhere-by-new-research>

Water Pollution: Everything you need to know

<https://www.nrdc.org/stories/water-pollution-everything-you-need-know>

The effect of dams on river transport of microplastic pollution

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719305078>

8 - Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros

<http://ecologia.ib.usp.br/portal/macrophytas/>

9 - Atlas Esgotos: Despoluição das bacias hidrográficas

<http://atlasesgotos.ana.gov.br/>

10 - Efeitos de diferentes intervenções no processo de eutrofização do lago Paranoá (Brasília – DF)

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2882932.pdf>

11 - Contaminantes químicos em águas destinadas ao consumo humano no Brasil

<https://pdfs.semanticscholar.org/7b13/6b382c8657fd24f266502c2d2d782d701205.pdf>

Metais pesados, hormônios e agrotóxicos estão na água que chega às torneiras

<https://www.redebrasilatual.com.br/saude-e-ciencia/2018/03/esgoto-hormonios-metais-pesados-e-agrotoxicos-estao-em-amstras-de-agua-que-chega-as-torneiras/>

Contaminantes emergentes podem ser uma ameaça na água para consumo humano

<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/32796742/contaminantes-emergentes-podem-ser-uma-ameaca-na-agua-para-consumo-humano>

## REFERÊNCIAS

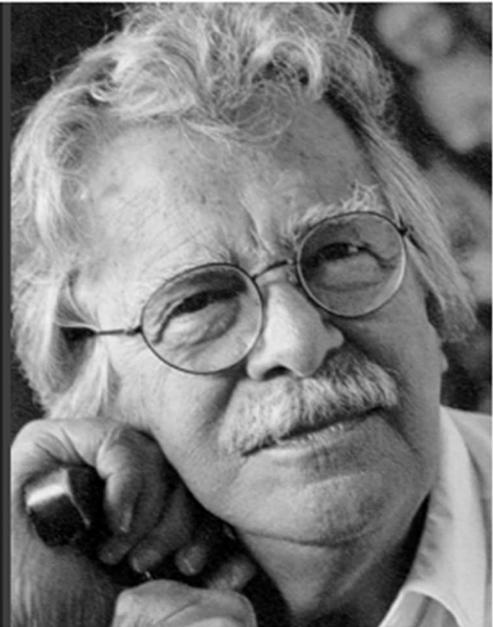
LEAL, P.; MOSCHINI-CARLOS, V.; LÓPEZ-DOVAL, J. C.; CINTRA, J. P.; YAMAMOTO, J. K.; BITENCOURT, M. D.; SANTOS, R. F.; ABREU, G. C.; POMPÊO, M. Impact of copper sulfate application at an urban Brazilian reservoir: a geostatistical and ecotoxicological approach. **Science of The Total Environment**, v. 618, p. 621-634, 2018.

POMPÊO, M. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros**. São Paulo: Instituto de Biociências da USP, 2017. 138 p. Disponível em: <http://www.ecologia.ib.usp.br/portal/macrophytas/>. Acesso em: março de 2017.

A crise da  
educação no  
Brasil não é uma  
crise; é um  
projeto.

Darcy Ribeiro

 PENSADOR



A crise da educação no Brasil não é uma crise; é um projeto.

[Darcy Ribeiro](#)

<https://www.pensador.com/frase/MjAyMjM3NQ/>