

# O CRÔNICO PROBLEMA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS BRUTAS EM SÃO PAULO: CRÍTICAS E SUGESTÕES

Marcelo Pompêo  
Sheila Cardoso-Silva  
Viviane Moschini-Carlos

Universidade de São Paulo  
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Universidade Federal de Alfenas

São Paulo - 2025

Ficha catalográfica elaborada pelo Serviço de Biblioteca do Instituto de Biociências da USP, com os dados fornecidos pelos autores.

C957 O crônico problema da qualidade das águas em São Paulo: críticas e sugestões / Organização : Marcelo Pompêo, Sheila Cardoso-Silva, Viviane Moschini-Carlos. -- São Paulo : Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 2025.  
62 p. : il.

ISBN: 978-65-88234-23-5

1. Qualidade da Água. 2. Reservatórios. I. Pompêo, Marcelo, org.  
II. Cardoso-Silva, Sheila, org. III. Moschini-Carlos, Viviane, org.

LC: QH 541.5

Responsável pela elaboração: Elisabete da Cruz Neves. CRB-8/6228

Capa: Fotografia de um *bloom* de algas nas águas superficiais do reservatório de Nova Avanhandava (SP), em 15 de maio de 2024. Fonte: Marcelo Pompêo.

É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e autoria. Proibindo qualquer uso para fins comerciais.

**O CRÔNICO PROBLEMA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS BRUTAS EM  
SÃO PAULO: CRÍTICAS E SUGESTÕES**

**Marcelo Pompêo  
Sheila Cardoso-Silva  
Viviane Moschini-Carlos**

**Universidade de São Paulo  
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Universidade Federal de Alfenas**

**São Paulo - 2025**

## PREFÁCIO

Neste livro buscamos discutir temas de interesse da sociedade, principalmente, voltados à qualidade das águas brutas e dos sedimentos de reservatórios. A discussão sobre o que é qualidade passa por compreender como a água e os sedimentos afetam a nossa saúde e a biota do planeta, mas também como impacta a geração de emprego e renda.

Vivemos em um mundo manejado pelos interesses humanos. No contexto do Antropoceno, nossa Gaia é finita em recursos e possibilidades. O exagero, a indisciplina nos usos dos recursos e as displicências de como mantemos nossos ecossistemas, como dividimos suas benesses e descartamos nosso lixo cobrarão o preço, que já sentimos em decorrência dos efeitos das mudanças climáticas e de uma poluição crescente.

Um ambiente natural, sem a interferência humana, pode ser definido como um sistema de qualidade máxima, com exceção de ambientes extremos, como as fontes termais, por exemplo, com elevadas temperaturas, que não permitiriam a vida dos seres humanos. Portanto, um ecossistema sem intervenções humanas de qualquer tipo, inclusive sem deposições secas ou úmidas oriundas de áreas ocupadas por outros humanos, passa a ser a meta. Sabemos que no presente isso é ambicioso demais e impossível de acontecer, pois no planeta inteiro, mesmo nos locais mais recônditos, é possível constatar a interferência dos homens. Assim, temos que conviver com os impactos que causamos ao meio ambiente, em decorrência do modo que optamos viver e interagir com o planeta. Mas isso não significa que tudo está perdido. O homem que constrói foguetes e realiza transplantes, também tem total capacidade para compreender o que causa ao meio ambiente e, por isso mesmo, conseguirá desenvolver ações para minimizar esses impactos, buscando a sustentabilidade no longo prazo. Caso não faça, estamos fadados ao fracasso como espécie e corremos o risco de sermos mais uma em extinção. O tempo corre e é implacável.

Esta pequena publicação visa centrar esforços para discutir como podemos reverter quadros de degradação de nossos mananciais. É urgente discutir a gestão da água sob a ótica da sustentabilidade, com normas que de fato respeitem e vida e protejam o meio ambiente, excluindo aquelas que unicamente garantam o lucro para poucos e permitem degradar os nossos mananciais, deixando um passivo ambiental para todos.

Marcelo Pompêo  
Sheila Cardoso-Silva  
Viviane Moschini-Carlos

São Paulo, 18 de agosto de 2025.

## AGRADECIMENTOS

Somos gratos ao Departamento de Ecologia, do Instituto de Biociências (IB), da Universidade de São Paulo (USP), pelas facilidades oferecidas para o desenvolvimento dos trabalhos do grupo. Da mesma maneira, também agradecemos ao Departamento de Engenharia Ambiental, do Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT), da Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Campus de Sorocaba. Sem estes apoios de espaços e de pessoal, oferecidos por essas instituições, não conseguiríamos desenvolver trabalhos em todas as áreas de atuação que militamos.

Também agradecemos aos Programas de Pós-Graduação em Ecologia (IB) e de Ciência Ambiental (PROCAM), do Instituto de Energia e Ambiente, ambos da USP e de Ciências Ambientais (ICTS, UNESP). O apoio oferecido por esses PPGs foi e continua sendo fundamental, pois através deles nos vinculamos a alunos motivados para colaborar nas pesquisas que desenvolvemos.

Não poderíamos de deixar de agradecer a Universidade Federal de Alfenas, Campus de Poços de Caldas, pelas oportunidades e facilidades oferecidas.

Agradecemos aos alunos da turma de graduação de 2025 do curso de Ciências Biológicas, em especial da disciplina Ecologia de reservatórios tropicais (USP, IB), pela oportunidade de discutirmos a primeira versão deste manuscrito.

Somos gratos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - Fapesp (Processos 2019/10845-4, 2020/11759-1, 2021/10637-2, 2021/11283-0, 2023/13367-1 e 2024/17098-8) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Processos 303660/2016-3, 301559/2018-0, 301928/2019-3, 30005/2021-3 e 302224/2022-0), pelos financiamentos às pesquisas.

Também somos gratos a todos que colaboraram com o grupo, de alunos a colegas, de instituições brasileiras e estrangeiras, em especial da Espanha. Essa incessante interação permitiu que ampliássemos nossas áreas de atuações, trazendo inovações às pesquisas na área de limnologia, particularmente.

*“Nunca tenha certeza de nada,  
porque a sabedoria começa  
com a dúvida”*

Sigmund Freud

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
NOTÍCIAS RECENTES	4
RESOLUÇÃO CONAMA nº 357 E DECRETO nº 10.755	5
RECENTES AÇÕES	13
O RIO PINHEIROS	13
AS CIANOBACTÉRIAS E AS CIANOTOXINAS	15
O MONITORAMENTO: RESOLUÇÃO CONAMA nº 357, PORTARIAS GM/MS nº 5 e GM/MS nº 888	17
OS ALGICIDAS: SULFATO DE COBRE PENTAHDRATO E PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO	24
A RESOLUÇÃO CONAMA nº 467	27
ESTUDOS DE CASOS	31
CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS	46



Barragem de Itaparanga (Ibiúna, SP), em 16 de fevereiro de 2025. Fonte: Marcelo Pompêo.

## INTRODUÇÃO

A água não é um produto comercial como outro qualquer, mas um patrimônio que deve ser protegido, defendido e tratado como tal (EUROPEAN UNION, 2000/60/CE). Ela é necessária para todas as atividades humanas e para a preservação da vida, no seu sentido mais amplo. Deste modo, a gestão da água envolve múltiplos atores e interesses, frequentemente resultando em conflitos. A discussão acerca da qualidade e quantidade da água está diretamente relacionada aos usos da bacia hidrográfica de seu respectivo manancial. Usos mais intensos e diversificados na bacia tendem a representar maiores impactos negativos sobre a qualidade dos mananciais (POMPÊO; MOSCHINI-CARLOS, 2012, 2020; TORREMORELL et al., 2021; MENGO et al., 2022, 2024; SOUZA et al., 2022; BISPO et al., 2023). Esses impactos também interferem na quantidade disponível de água, pois com a sua deterioração seus usos passam a ter finalidades mais restritivas, até mesmo inviabilizando qualquer uso, na dependência do comprometimento de sua qualidade.

Nesse sentido, o monitoramento da qualidade das águas é peça-chave na gestão pública e no uso sustentável dos recursos hídricos. O acompanhamento periódico, seguindo premissas previamente estabelecidas por normativas e por um programa de gestão bem definidos, permitirão acompanhar a evolução histórica das condições, dos parâmetros e dos padrões utilizados para avaliar a qualidade da água (POMPÊO, 2017). Esse acompanhamento contínuo e a fundamental série histórica gerada, auxiliarão na compreensão dos processos físicos, químicos e biológicos envolvidos na dinâmica do ecossistema, o que facilitará aplicar ações preventivas e corretivas, se necessárias (STRAŠKRABA; TUNDISI, 2000).

Segundo Straškraba; Tundisi (2000), os procedimentos de controle, definidos como gerenciamento corretivo, são aplicados quando o problema já se apresenta bem estabelecido, ou seja, as ações de controle são executadas somente após a efetiva constatação do problema. Já o gerenciamento preventivo, segundo os autores, busca, no médio prazo, criar situações que evitem o aparecimento de problemas de qualidade da água, o que é desejável. Os autores afirmam ainda que, em um horizonte de longo prazo, devem ser incorporados procedimentos que viabilizem um gerenciamento autossustentado, permitindo disponibilizar recursos para as gerações futuras, uma meta muito ambiciosa, mas que deve ser insistentemente perseguida.

Na prática, quase todos os procedimentos podem ser considerados tanto corretivos como preventivos; o que discrimina um do outro é o momento

da ação aplicada (POMPÊO, 2017). O corretivo é aplicado após a constatação do problema, como um intenso crescimento de macrófitas aquáticas, por exemplo, seguido da remoção das plantas por meio físico ou a posterior aplicação de algicidas para o controle de uma floração de cianobactérias (MANCUSO, 1987; POMPÊO, 2008). Já os procedimentos preventivos envolvem ações aplicadas assim que alguns sinais de alerta são detectados, evitando que o problema se instale. Tais medidas buscam restringir os impactos potenciais do eventual intenso crescimento das macrófitas aquáticas ou do fitoplâncton, especialmente das cianobactérias, ou mesmo para impedir que de fato esses crescimentos explosivos aconteçam, sendo, portanto, mais eficazes e recomendáveis do ponto de vista da gestão ambiental.



Sistema de bombas flutuantes no reservatório de Atibainha (Nazaré Paulista, SP), do Sistema Cantareira, no início do canal de saída para o rio Juquery, em 22 de outubro de 2015. Fonte: Marcelo Pompêo.

Este sistema foi empregado no momento de grave crise de escassez de água para a Região Metropolitana de São Paulo (2014-2015), visando retirar água do volume morto, posteriormente denominado reserva técnica.

Alguns reservatórios brasileiros rasos e polimíticos respondem às passagens de frentes frias, com períodos alternados de estratificação e mistura vertical (TUNDISI et al., 2004). Desta maneira, após o período de mistura, os nutrientes que estavam no fundo circulam na coluna de água, e tornam-se disponíveis para o fitoplâncton presente nas camadas mais superficiais. Isso favorece, portanto, o intenso crescimento do fitoplâncton, logo após as passagens de frentes frias, em decorrência do acesso às maiores concentrações de nutrientes, quando comparado com os períodos de estratificação térmica. Cabe lembrar que, durante a fase de estratificação, quando há camadas de água com marcadas diferenças de densidades, os nutrientes presentes no fundo praticamente estão indisponíveis para o fitoplâncton que se encontra na superfície, o que inibe o seu crescimento.



Sistema de bombeamento de água bruta (Franco da Rocha, SP) para o reservatório Águas Claras, para a Estação de Tratamento de Água do Guarauá (São Paulo), do Sistema Cantareira, em 13 de março de 2007. Fonte: Marcelo Pompêo.

Esses padrões foram observados por Tundisi et al. (2004) no reservatório Carlos Botelho (Itirapina, SP), também conhecido como Broa ou Lobo. Segundo esses autores, utilizando uma base conceitual e de informações climatológicas e limnológicas, um modelo preditivo poderá ser desenvolvido, subsidiando o avanço de tecnologias e abordagens de gerenciamento, especialmente para os reservatórios de abastecimento de água da Região Metropolitana (RM) de São Paulo. Assim, preventivamente poderiam ser aplicadas ações imediatamente às passagens de frentes frias, na expectativa de impedir ou mesmo de reduzir o crescimento do fitoplâncton e, conseqüentemente, os impactos desse crescimento. Deste modo, por meio de um programa de gestão ambiental estruturado, seria possível construir uma base de dados históricos robusta que auxiliaria a compreender os processos ecológicos envolvidos e a tomar medidas mais eficazes e menos impactantes sobre os ecossistemas aquáticos e do ponto de vista de saúde pública, se necessárias.

Este documento visa abrir um diálogo sobre os problemas observados na qualidade das águas no estado de São Paulo. São tecidas algumas críticas e sugestões, à luz dos programas de monitoramento e das normativas vigentes, em especial a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005); o Decreto nº 10.755 (SÃO PAULO, 1977); a Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021a) que altera o anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5 (BRASIL, 2017) e a Resolução CONAMA nº 467 (BRASIL, 2015). O texto também foi motivado pelas recentes notícias jornalísticas de melhorias na qualidade das águas de alguns rios paulistanos, publicadas em meados de 2024 e em 2025.

## **NOTÍCIAS RECENTES**

Não é recente a veiculação de reportagens discorrendo sobre a má qualidade das águas brutas do estado de São Paulo, em especial dos rios Pinheiros, Tietê e de alguns dos principais mananciais localizados próximos à RM da capital paulistana. Há, no mínimo, mais de meio século de publicações em jornais impressos e televisivos e mais recentemente nas mídias sociais, discorrendo sobre diferentes problemas nos mananciais, como ocupação desordenada nas suas margens, entre outros, causando impactos negativos na qualidade das águas. Portanto, não há novidade no tema, mas é recorrente e segue na ordem do dia, pela importância que a água tem no cotidiano das pessoas, através de seus usos múltiplos, na geração de emprego e renda, entre outros. Além disso, há constatações de que grande parte das massas de água permanecem com a sua qualidade inferior aos padrões estabelecidos pelas legislações vigentes e, contraditoriamente, muitas vezes essa má qualidade decorre, justamente da

estrita aplicação dessas mesmas normativas sem a devida consideração das especificidades ecológicas de cada sistema ou de sustentabilidade.



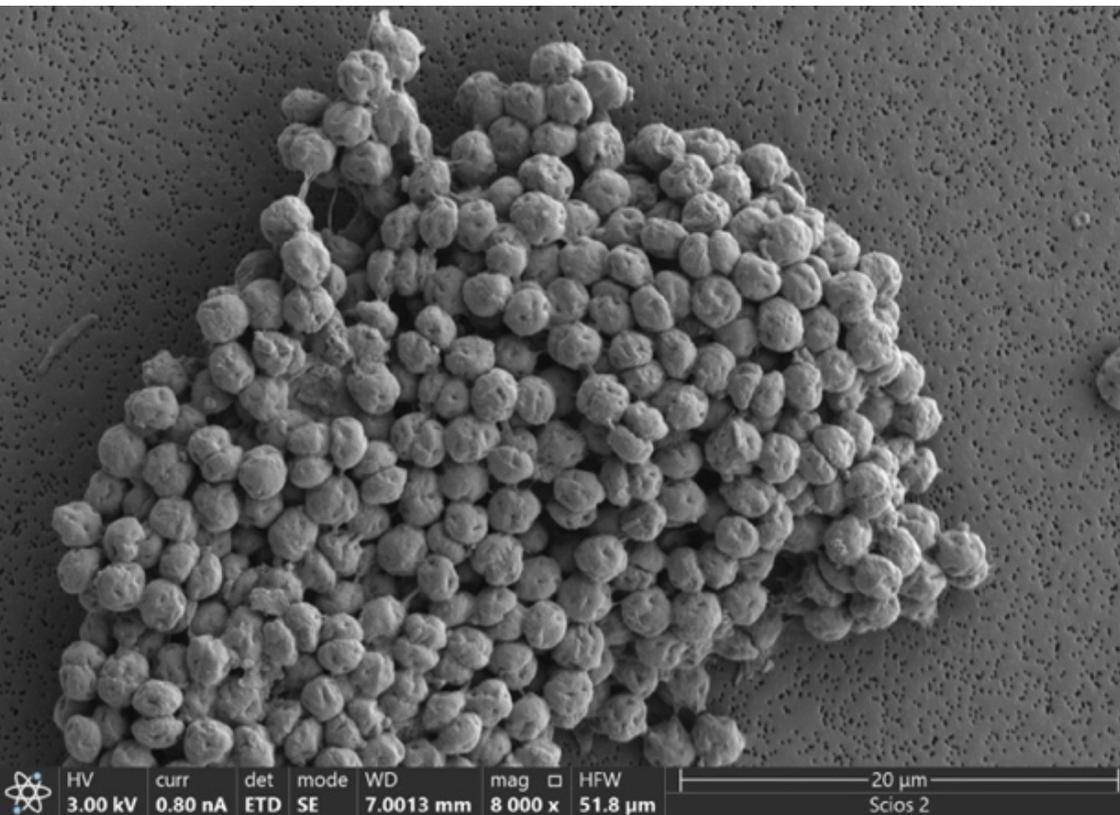
Manejo de macrófitas aquáticas executado pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), no reservatório Guarapiranga (São Paulo, SP), em 23 de agosto de 2019. Fonte: Marcelo Pompêo.

A embarcação é rotineiramente empregada para a remoção de macrófitas aquáticas, como parte de um programa de monitoramento e manejo, visando melhorar a qualidade da água do reservatório. Posteriormente, essa biomassa é depositada nas margens do reservatório e encaminhada a um aterro sanitário.

## RESOLUÇÃO CONAMA nº 357 E DECRETO nº 10.755

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), no uso das competências que lhe são conferidas publicou a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), que *“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”*. Assim, segundo esta Resolução, *“as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade. Parágrafo único. As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água, atendidos outros requisitos pertinentes.”* Deste modo, são cinco as classes definidas

por esta Resolução para as águas doces: Classe Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4, seguindo uma ordem de permissividade de uso da água, do menos ao mais restritivo.



Fotomicrografia (ThermoFischer, Scios 2 DualBeam) da cianobactéria *Microscystis* sp presente no reservatório de Nova Avanhandava (SP), em 15 de maio de 2024, obtida no Serviços de Suporte a Investigação Experimental, do Instituto Cavanilhas de Biodiversidade e Biologia Evolutiva, da Universidade de Valência (Burjassot, Espanha).

Já o Decreto nº 10.755 (SÃO PAULO, 1977) “dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468 (BRASIL, 1976) e dá providências correlatas”. Na prática, com base no Decreto nº 10.755 (SÃO PAULO, op cit.), o governo estadual

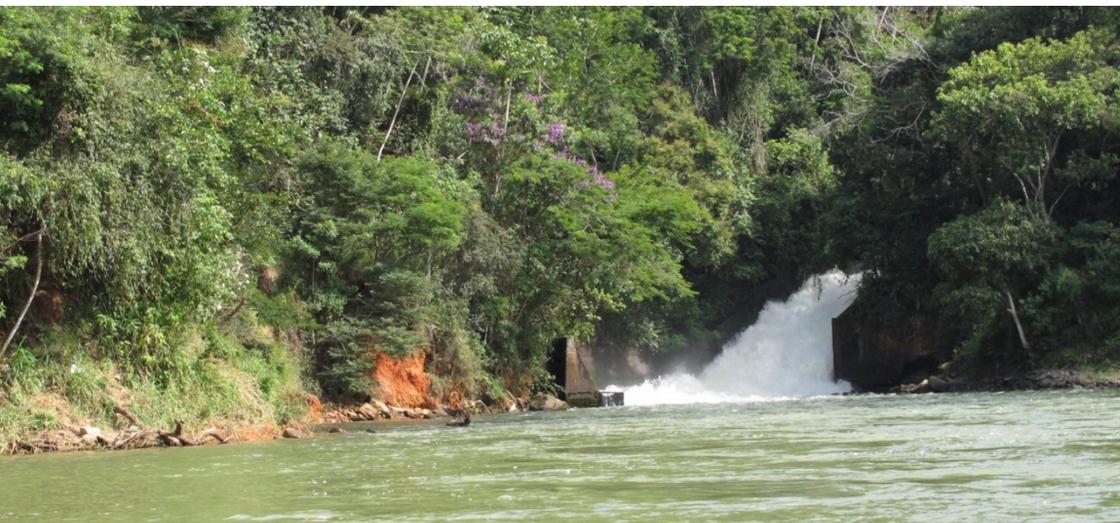
0 crônico problema da qualidade das águas brutas em São Paulo: críticas e sugestões

Marcelo Pompêo, Sheila Cardoso-Silva, Viviane Moschini-Carlos

USP, UNESP e UNIFAL

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

enquadrou os corpos de água doce do estado de São Paulo em uma das cinco classes para água doce, hoje definidas pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). No entanto, os inúmeros estudos realizados ao longo do tempo por diferentes grupos de pesquisas, demonstram que em muitos casos, as massas de água paulistas não estão em conformidade ao seu enquadramento, especialmente no que se refere aos usos pretendidos, com base na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, op cit.) e no Decreto nº 10.755 (SÃO PAULO, op cit.). Apesar da Resolução definir metas progressivas (Capítulo V, Art. 38º, parágrafos 2º e 3º), a ausência de prazos claros para o seu cumprimento compromete a efetividade deste instrumento de gestão dos recursos hídricos.



Canal de transposição de água do reservatório Cachoeira para o reservatório Atibainha (Nazaré Paulista, SP), do Sistema Cantareira, em 19 de abril de 2013. Fonte: Marcelo Pompêo.

O objetivo da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) é disciplinar os usos das águas, mas há uma tolerância implícita à degradação da sua qualidade, em decorrência das permissividades no uso da bacia hidrográfica, para gerar emprego e renda. Isso é particularmente crítico para as águas doces, cujos prejuízos à qualidade tendem a ser mais acentuados quanto maior for a classe de enquadramento da água bruta, ou seja, da Classe Especial à Classe 4, conforme o Art. 4º dessa Resolução.

O crônico problema da qualidade das águas brutas em São Paulo: críticas e sugestões

Marcelo Pompêo, Sheila Cardoso-Silva, Viviane Moschini-Carlos

USP, UNESP e UNIFAL

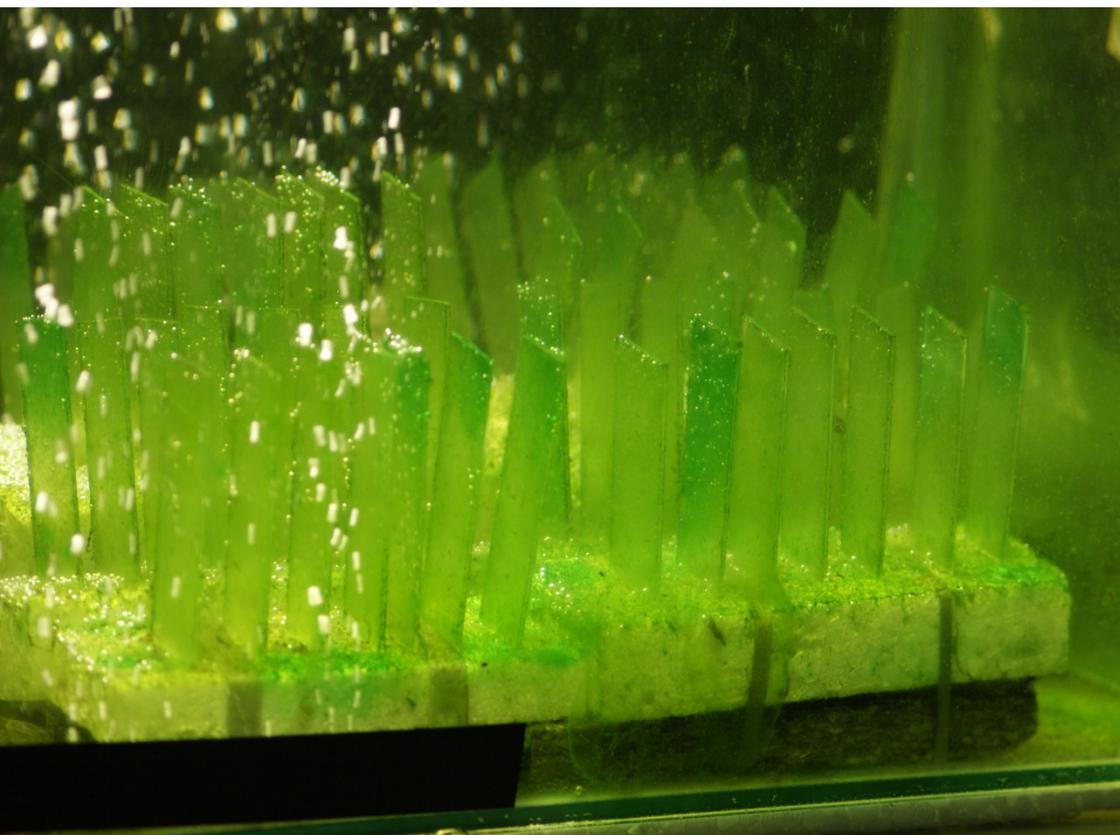
<http://ecologia.ib.usp.br/portal/cronico/>

As águas doces enquadradas como Classe Especial, têm uso menos restrito, quando comparado com as demais classes, destinadas “ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral”. As águas Classe 1 podem ser destinadas “ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas”. Já para a Classe 2 as águas que podem ser destinadas “ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aquicultura e à atividade de pesca”. As Classe 3 podem ser destinadas “ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e à dessedentação de animais”, enquanto que as Classe 4 podem ser destinadas “à navegação; e à harmonia paisagística”, unicamente

Portanto, a Classe 4 representa os piores padrões de qualidade permitidos pela legislação, como estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). Deste modo, os rios Pinheiros e Tietê na RM de São Paulo, enquadrados como Classe 4 (Decreto nº 10.755; SÃO PAULO, 1977), não podem ter suas águas coletadas para qualquer tipo de uso, como rega de jardins ou lavagem de ruas, muito menos para o consumo humano, pois está vetado pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, op cit.), ainda que passem por tratamento. Espera-se que os impactos na qualidade das águas enquadradas como Classe 4 sejam expressivos, o que impede usos mais nobres, em decorrência da eventual presença de compostos potencialmente prejudiciais à saúde ou até mesmo pela presença de organismos patogênicos, ambos carregados de sua bacia hidrográfica, por fontes difusas e pontuais, significativamente impactada por atividades antrópicas.

Deste modo, com base no enquadramento, é esperado que nos mananciais localizados em áreas com usos mais intensos e variados haja reflexos negativos na qualidade de suas águas. Esses impactos tendem a ser mais severos quanto mais intensos os usos autorizados na bacia e menos

permissiva for a classe de uso da água atribuída. Portanto, o estado, por meio de uma política pública, permitiu e segue permitindo que rios como o Pinheiros, Tietê e Tamanduateí, entre outros, enquadrados como Classe 4, tenham suas águas deterioradas, destinadas apenas à navegação e harmonia paisagística e impedidas de diversos outros usos, inclusive para manutenção da vida aquática, como de peixes e zooplâncton, por exemplo.



Experimentos com perífiton em substrato artificial de vidro (lâminas de microscópio), no Laboratório de Limnologia (USP, IB, Departamento de Ecologia), em janeiro de 2016. Fonte: Marcelo Pompêo.

A Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) ou outras normativas posteriormente publicadas, não trazem no seu bojo discussões sobre a obrigatoriedade de alterações na classe de enquadramento ou de prazos claros para reverter o enquadramento, principalmente de mananciais Classe 4. Portanto, não há aspectos legais que permitam pressionar por alterações na classe de enquadramento, o que acontecerá unicamente em decorrência de interesses do próprio governo e sua equipe de apoio, ou decorrente de sólida pressão da sociedade. Considerando esse contexto, uma massa de água enquadrada como Classe 4 poderá permanecer indefinidamente nessa classe de enquadramento, como ocorre há décadas com os rios Tietê, Pinheiro e Tamandateí na RM de São Paulo, oficialmente autorizados a permanecerem como esgotos à céu aberto na cidade, segundo as atuais normas vigentes. Este fato é uma contradição aos princípios da gestão ambiental sustentável e da proteção da saúde pública.

Mesmo para a Classe 4, bastante permissiva à degradação, há alguns limites estabelecidos. No seu Art. 17º, a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) estabelece que as *“águas doces de Classe 4 observarão as seguintes condições e padrões: I - materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes; II - odor e aspecto: não objetáveis; III - óleos e graxas: toleram-se iridescências; IV - substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação: virtualmente ausentes; V - fenóis totais (substâncias que reagem com 4 - aminoantipirina) até 1,0 mg/L de C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH; VI - OD, superior a 2,0 mg/L O<sub>2</sub> em qualquer amostra; e VII - pH: 6,0 a 9,0”*.

Há que ficar claro que essa extrema permissividade na deterioração da qualidade das águas Classe 4, na prática, foi referendada por uma normativa específica e, posteriormente, aplicada na íntegra pelo governo estadual e sua equipe técnica de apoio, no momento do enquadramento das massas de água do estado, permanecendo até hoje. Essa política refletiu uma correlação de forças entre os diferentes atores e interesses envolvidos nos usos da bacia hidrográfica e de suas águas, representando um acordo com a sociedade, mas com claros prejuízos ao meio ambiente e para outros usos que o homem viesse a fazer dele no futuro, em especial das águas.

Para alterar esse acordo, definido pelas normas vigentes, há que publicar novas normativas, que só existirão mediante pressão popular, mas também considerando outros interesses, desta vez com base em princípios de sustentabilidade, não levados em consideração anteriormente. Ressalta-se, contudo, que nada impediu, e ainda não impede, que o governo exclua a Classe 4 nos enquadramentos estaduais, apesar de sua existência na legislação. Esse simples ato impactaria positivamente a qualidade das águas,

pois com o enquadramento em classes menos restritivas no uso (como a Classe 3 ou 2, por exemplo), haveria a obrigatoriedade para definir menores pressões sobre a bacia, com reflexo na melhoria da qualidade dos mananciais. Nesse contexto, seria possível atingir uma melhor qualidade ambiental tanto para todos os cidadãos, quanto para a saúde da biota, além de ampliar as possibilidades de usos futuros para as águas, de acordo com a própria Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005).



Desassoreamento de margem do rio Sorocaba (SP), em 29 de abril de 2025. Fonte: Marcelo Pompêo.

Adicionalmente, o Capítulo VI da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), nas Disposições Finais e Transitórias, estabelece em seu Art. 42º que: *“enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas Classe 2, as salinas e salobras Classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente.”* Isso significa que toda massa de água doce nos domínios do território brasileiro,

se não oficialmente enquadradas pelas autoridades competentes de cada estado, para efeito prático de uso, serão automaticamente consideradas Classe 2. Essa diretriz desestimula a implementação efetiva do enquadramento, uma vez que os corpos hídricos passaram a receber uma classificação padrão e automática, mas sem o devido respaldo em diagnóstico técnico. Como consequência, há o risco de comprometer a proteção de ambientes que, em razão de suas características naturais, poderiam ser enquadrados em classes de qualidade superior, caso fossem avaliados com base em critérios técnico-científicos mais rigorosos.

No entanto, já que os mananciais paulistas se encontram enquadrados desde 1977, alternativamente poderia ser adotada uma política de reenquadramento. Nesse novo enquadramento, o governo desestimularia o uso da Classe 4, promovendo a reclassificação de todos os mananciais atualmente enquadrados nessa categoria para a Classe 3, no mínimo. Caso isso ocorresse, com base no Capítulo V, da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), nas Diretrizes Ambientais para o Enquadramento, especificamente no Art. 38º, parágrafo 2, "*nas bacias hidrográficas em que a condição de qualidade dos corpos de água esteja em desacordo com os usos preponderantes pretendidos, deverão ser estabelecidas metas obrigatórias, intermediárias e final, de melhoria da qualidade da água para efetivação dos respectivos enquadramentos, excetuados nos parâmetros que excedam aos limites devido às condições naturais*". Isso significa que obrigatoriamente, seguindo um cronograma, deveriam ser desenvolvidas ações na bacia e no próprio manancial para que este passasse a estar em conformidade com a nova classe de enquadramento, que no exemplo sugerido é a Classe 3.

Portanto, ainda que a Classe 4 esteja contemplada na legislação é possível e recomendável, evitar seu uso nos enquadramentos estaduais, visto os diversos impactos ambientais e socioeconômicos observados em decorrência das massas de água com esse enquadramento. Na RM de São Paulo temos como exemplos concretos desses prejuízos, decorrentes do uso da Classe 4, os conhecidos problemas nos rios Pinheiros, Tietê e Tamanduateí, entre outros mananciais da cidade.

Vale lembrar que, entre as diversas e relevantes ações na bacia hidrográfica, visando proteger os mananciais, a criação de uma zona de amortecimento representa uma medida estratégica. Esta zona estaria localizada nas margens dos rios e reservatórios e representaria uma área com revegetação (FRANCO et al., 1992; ALMEIDA; SÁNCHEZ, 2005), que se presente auxiliaria a amortecer os impactos dos usos da bacia no entorno do manancial. A ausência de zonas de amortecimento adequadas expõe os corpos hídricos diretamente às pressões exercidas pelo uso e ocupação do

solo. Isso resulta na maior degradação da qualidade da água e coloca mais ainda em risco os serviços ecossistêmicos providos por esses sistemas. Portanto, sua implementação deve ser considerada uma prioridade na recuperação, conservação e uso sustentável dos mananciais.

## **RECENTES AÇÕES**

Ainda que algumas ações não sejam tão recentes, o governo do estado de São Paulo vem empreendendo esforços, somados aos aplicados há décadas, inclusive no século passado, visando reverter esse preocupante cenário de degradação de nossas águas. Uma dessas ações é o programa Novo Rio Pinheiros, uma iniciativa de saneamento do governo do estado, que tem como meta conectar milhares de residências à rede de tratamento de esgoto, diminuindo a carga de matéria orgânica que chega sem tratamento ao rio, impactando negativamente a sua qualidade. Como noticiado, em meados de 2024 e início de 2025 esse conjunto de ações apresentaram reflexos positivos na melhoria da qualidade das águas do rio Pinheiros. No entanto, apesar das boas notícias, ainda não há motivos para comemorações e nem para baixar a guarda.

## **O RIO PINHEIROS**

O rio Pinheiros encontra-se degradado há no mínimo mais de um século. Suas margens foram retificadas, domadas e a sua calha é constantemente dragada. Por décadas recebeu uma imensa carga orgânica e compostos químicos diversos, provenientes de fontes pontuais e difusas da cidade de São Paulo. Seu curso é artificialmente controlado, com águas que seguem em dois sentidos, na medida do interesse operacional. O Engenheiro Asa Billings, no início do século passado, idealizou um sistema de transposição de águas do Tietê, também historicamente muito impactado, para o Pinheiros e deste para o reservatório Billings, por meio de comportas e bombas. Esse sistema visou transpor águas para serem reservadas no reservatório Billings, para, posteriormente, serem levadas serra abaixo, até a Usina Hidroelétrica de Henry Borden, localizada no sopé da Serra do Mar em Cubatão, na Baixada Santista, para fins de produção de energia elétrica. No entanto, com a deterioração de sua qualidade, no presente está autorizada a transposição de águas para a Billings apenas para o controle de enchentes (EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA, s.d.), o que reduziu a oferta de água para a geração de energia elétrica.

Recentemente o rio passou por outra etapa de revitalização de viés de engenharia, com uma nova retificação de suas margens e com a quase total eliminação de zonas marginais, que abrigavam plantas aquáticas. Essa



A cidade de São Paulo.  
Fonte: Marcelo Pompêo.

medida reduziu a presença de micro-habitats e a ação de seus organismos associados na depuração de suas águas. Diante desse histórico, o Pinheiros, o outro rio que a cidade perdeu (JORGE, 2006), há muito tempo deixou de ser um rio, tratando-se unicamente de um canal artificial impactado e constantemente manejado pelo homem.

As notícias recentemente veiculadas sobre o rio discorrem que suas águas ficaram verdes e que em várias partes do rio há peixes e o oxigênio “voltou”. Aqui vale um parêntesis: com base na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), para estar em conformidade à Classe 4, o rio Pinheiros deveria apresentar concentrações de oxigênio dissolvido (OD) em suas águas com valores superiores a 2,0 mg/L em qualquer amostra. No entanto, na prática isso raramente acontecia, pois, por décadas, em decorrência de sua grande carga orgânica, quase sempre suas águas possuíam valores de OD no nível de anoxia, ou próximo a zero, muito abaixo dos 2,0 mg/L exigidos pela normativa. Isso significa que, mesmo enquadrado em uma classe com exigências mínimas e usos extremamente restritos, como navegação e harmonia paisagística, o rio Pinheiros raramente se encontrava em conformidade com sua própria classe de enquadramento, apresentando qualidade inferior às definidas para a Classe 4, ao menos para o OD.

Quanto à recente cor verde observada nas águas superficiais do rio, conforme veiculado pela imprensa em 2024 e em 2025, esta decorreu da elevada presença de fitoplâncton, em especial das cianobactérias. Esse é um sinal positivo, pois demonstra que as suas águas de fato, estão saindo de uma situação muito crítica, de quase total anoxia, para uma qualidade que permite o desenvolvimento algal, o que anteriormente era improvável. Em decorrência da grande carga interna de nutrientes presente nos sedimentos do canal, que circulam na coluna de água, esse crescimento fitoplanctônico pode se dar de maneira explosiva, as denominadas florações (*blooms*), nas quais ocorre a dominância de algas da Classe Cyanobacteria, que confere à água superficial típica coloração verde-azulada. Enquanto não houver uma redução significativa nos teores de nutrientes no canal, é de se esperar a ocorrência de novos e frequentes episódios de florações algais. Os sinais são positivos, mas é preciso ficar atento.

## **AS CIANOBACTÉRIAS E AS CIANOTOXINAS**

As cianobactérias que começaram a aparecer em grandes quantidades nas águas do rio Pinheiros (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2023), ocorrem em água doce, como lagos, reservatórios para abastecimento público, poços e rios, em ambientes marinhos, estuarinos, em solos e em ambientes extremos, como fontes

termais, neve e deserto (CHORUS; WELKER, 2021). São organismos que podem produzir toxinas, as chamadas cianotoxinas, que podem causar efeitos adversos aos seres humanos e animais.



Extenso banco de macrófita aquática, dominado principalmente pelo aguapé (*Eichhornia crassipes*), no reservatório de Salto Grande (Americana, SP), em 24 de março de 2022. Mais próximo à margem, também é possível observar a presença de *bloom* de algas. Fonte: Marcelo Pompêo.

As cianotoxinas, com diferentes mecanismos de ação e características próprias, são classificadas como hepatotóxicas, neurotóxicas, citotóxicas e dermatotóxicas (VAN APELDOORN et al., 2007; BORTOLI; PINTO, 2015). São substâncias orgânicas que ocorrem naturalmente e são

O crônico problema da qualidade das águas brutas em São Paulo: críticas e sugestões

Marcelo Pompêo, Sheila Cardoso-Silva, Viviane Moschini-Carlos

USP, UNESP e UNIFAL

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

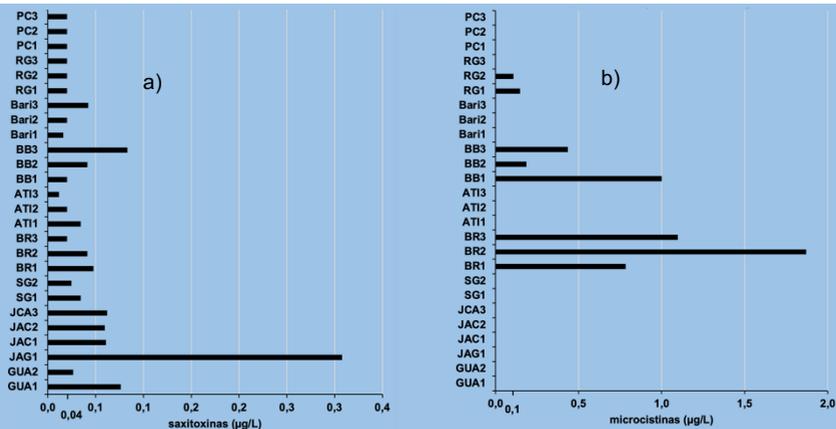
produzidas por várias espécies de cianobactérias, como produtos secundários do metabolismo. Essas cianotoxinas podem permanecer no interior da célula ou serem liberadas para o meio ambiente, sob condições normais de crescimento, em estágio de senescência, como processo natural de envelhecimento da célula ou por rompimento das células por algum agente externo, como pela ação de algicidas, por exemplo (BORTOLI; PINTO, 2015; COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2023), que visam controlar o crescimento algal.

No mundo há casos de intoxicação e mortes de seres humanos e de animais, em decorrência do contato com as cianotoxinas (WOOD, 2016). No Brasil, o caso mais emblemático ficou conhecido como a Tragédia de Caruaru. No início de 1996, 123 pacientes renais crônicos passaram a apresentar um quadro clínico de doença hepática após terem sido submetidos a sessões de hemodiálise em uma clínica da cidade de Caruaru (PE) (AZEVEDO, 1998). Destes, 54 vieram a falecer até cinco meses após o início dos sintomas. Os estudos demonstraram a presença de microcistinas no carvão ativado utilizado no sistema de purificação de água da clínica, mas elas também estavam presentes em amostras de sangue e fígado dos pacientes intoxicados. A microcistina é uma das principais hepatotoxinas produzidas pelas cianobactérias, como as do gênero *Microcystis*, que crescem de modo natural nas águas brasileiras (MOSCHINI-CARLOS et al., 2009, 2024; BRONSTEIN; MOSCHINI-CARLOS, 2024; SANTOS-MACHADO et al., 2016, 2022). Em função desse trágico episódio ocorrido em Caruaru, as cianobactérias e cianotoxinas passaram a ser obrigatoriamente monitoradas nas águas brutas brasileiras, principalmente as empregadas no abastecimento público.

## **O MONITORAMENTO: RESOLUÇÃO CONAMA nº 357, PORTARIAS GM/MS nº 5 e GM/MS nº 888**

A Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) definiu as condições e os padrões para os parâmetros e seus valores máximos para cada classe. Com base na densidade de células de cianobactérias, os valores máximos permitidos são os seguintes: para a Classe 1 um máximo de 20.000 células por mililitro (ml) ou por biovolume máximo de 2 mm<sup>3</sup>/l; para a Classe 2 um máximo de 50.000 células por ml ou por biovolume de 5 mm<sup>3</sup>/L; para a Classe 3 um máximo de 100.000 células por ml ou por biovolume de 10 mm<sup>3</sup>/l; já para a Classe 4, não há limites estabelecidos. Isto significa que para o manancial estar em conformidade à sua classe de enquadramento, as densidades de células de cianobactérias não podem ser superiores ao limite superior da sua respectiva classe. Deste modo, o rio Pinheiros sempre estará

em conformidade à sua classe, independente da densidade observada, pois não há limites para a presença das cianobactérias potencialmente tóxicas.



Concentrações de saxitoxinas (a) e microcistinas (b) em amostras de água de diferentes estações de coletas dos reservatórios Jaguari – JG, Jacaréi – JC, Atibainha – AT, Paiva Castro – PC, Rio Grande – RG, Guarapiranga – GUA, Barra Bonita – BB, Bariri – BA, Salto Grande – SG.

A presença de saxitoxinas e microcistinas na água foi detectada em todas as estações amostradas nos reservatórios. Para as estações de SG e BA as concentrações foram abaixo do limite de detecção do método e em 13 pontos amostrados os valores foram superiores ao limite superior do método ( $2,0 \mu\text{g l}^{-1}$ ), mesmo após uma diluição de 100 vezes. Fonte: Moschini-Carlos et al. (2024).

A Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021a), dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, em substituição ao Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5 (BRASIL, 2017). Segundo a Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021a), o Art. 43º determina que para minimizar os riscos de contaminação da água para o consumo humano pela presença das cianotoxinas, deve existir o monitoramento para a identificação e contagem das células de cianobactérias. Conforme definido no Anexo 12 desta Portaria, esse monitoramento deve ocorrer: trimestralmente quando a densidade for inferior a 10.000 células por ml e semanalmente, caso seja superior. Para efeito de alteração da frequência de monitoramento, a Portaria define que deve ser levado em consideração o resultado da última amostragem.

Assim, como definido nas normativas, há obrigatoriedade do acompanhamento da presença de cianobactérias em todo manancial empregado no abastecimento público e sua frequência de amostragem está condicionada às densidades encontradas. Isto é razoável, pois as maiores densidades de cianobactérias podem representar maiores concentrações de cianotoxinas. Este fato implicará em maiores custos para removê-las no tratamento da água empregado no abastecimento público, mas também aumenta os riscos à saúde dos usuários, caso essas toxinas não sejam eficientemente monitoradas e posteriormente removidas.



Extenso banco de macrófita aquática, dominado principalmente por *Salvinia*, no reservatório de Paraitinga (Salesópolis, SP), em 22 de maio de 2017. Fonte: Marcelo Pompêo.

A CETESB, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, é a agência do governo do estado oficialmente responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de resíduos, com a preocupação de preservar e recuperar a qualidade das águas, do ar e do solo. Possui uma das estruturas analíticas mais bem

O crônico problema da qualidade das águas brutas em São Paulo: críticas e sugestões

Marcelo Pompêo, Sheila Cardoso-Silva, Viviane Moschini-Carlos

USP, UNESP e UNIFAL

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

equipadas da América Latina, sendo referência na realização de análises físicas, químicas e biológicas da água e sedimento, além de contar com um quadro de funcionários com sólida formação.

Há décadas, a CETESB mantém um programa de monitoramento que visa acompanhar a qualidade das águas interiores paulistas. Esse monitoramento é realizado a cada dois meses para a maioria dos pontos e, mensalmente, nos mananciais empregados no abastecimento público, como os reservatórios Billings, Guarapiranga e do Sistema Cantareira. Assim, independentemente do número de células de cianobactérias observadas nas coletas, o órgão estadual mantém fixa a periodicidade do monitoramento, mesmo para os reservatórios empregados no abastecimento público.

A responsabilidade legal por ajustar a frequência do monitoramento com base na densidade de células de cianobactérias, segundo a Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021a), recai exclusivamente sobre as empresas responsáveis pelo sistema de abastecimento de água para consumo humano, bem como quando aplicadas soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano. No entanto, a falta de acompanhamento pela CETESB ou por outra empresa/instituição conveniente, com a mesma periodicidade de coleta empregada pelas companhias municipais de saneamento básico, responsáveis pelos mananciais empregados no abastecimento público no estado de São Paulo, não permite a checagem das condições da água bruta. Consequentemente, isso compromete a possibilidade de validação ou auditoria externa dos dados produzidos pelas companhias de abastecimento, ou mesmo impede uma avaliação crítica mais abrangente e transparente das condições reais dos mananciais, sobretudo aqueles empregados no abastecimento da RM de São Paulo. Além disso, a CETESB é a única instituição responsável pela divulgação pública dos dados levantados em campo, por meio dos *Relatórios de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo*, amplamente utilizados por pesquisadores, gestores e a sociedade civil (<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>).

Nos parágrafos do Capítulo VI, Art. 43º, a Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021a) também define:

*“§ 1º Em complementação ao monitoramento do Anexo 12, deve ser realizada análise de clorofila-a no manancial, com frequência mensal, como indicador de potencial aumento da contagem de cianobactérias.*

*I - Quando os resultados da análise prevista no § 1º deste artigo revelarem que a concentração de clorofila-a é igual ou superior a 10 µg/l, deve-se proceder a nova coleta de amostra para análise do fitoplâncton;*

*II - Se a contagem de células de cianobactérias representar 10% ou mais do fitoplâncton, deve ser realizado monitoramento semanal de cianobactérias no manancial, no ponto de captação; e*

*III - O monitoramento de clorofila-a descrito no § 1º deste Artigo pode ser substituído pelo monitoramento mensal de cianobactérias no ponto de captação, atendendo o limite de contagem de células de cianobactérias menor ou igual a 10.000 células/ml.*

*§ 2º Quando a contagem de células de cianobactérias exceder 20.000 células/ml, deve-se realizar análise das cianotoxinas microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas no ponto de captação com frequência no mínimo semanal:*

*I - As análises de cianotoxinas no ponto de captação devem permanecer enquanto se mantiver contagem de células de cianobactérias superior a 20.000 células/ml.*

*§ 3º Alternativamente ao monitoramento de cianobactérias pode ser realizado o monitoramento semanal de cianotoxinas na água bruta (entrada da ETA).*

*I - Quando o monitoramento de cianotoxinas for realizado semanalmente na água bruta, fica dispensada a realização do monitoramento de cianobactérias e clorofila-a no ponto de captação.*

*§ 4º Quando a análise de cianotoxinas realizada na água bruta (entrada da ETA) ou em pelo menos um ponto de captação for superior ao VMP expresso no Anexo 10, será obrigatória a realização da análise de cianotoxinas na saída do tratamento com frequência semanal.*

*§ 5º Quando a análise de cianotoxinas na água bruta (entrada da ETA) ou em todos os pontos de captação for inferior ao VMP expresso no Anexo 10, será dispensada a realização desta análise na saída do tratamento.*

*§ 6º O monitoramento de cianobactérias, quando exigido, deve ser realizado em cada ponto de captação e deve identificar os gêneros presentes.*

*§ 7º Em função dos riscos à saúde associados às cianotoxinas, é vedado o uso de algicidas para o controle do crescimento de microalgas e cianobactérias no manancial de abastecimento ou qualquer intervenção que provoque a lise das células.*

*§ 8º As autoridades ambientais e de recursos hídricos definirão a regulamentação das excepcionalidades sobre o uso de algicidas nos cursos d'água superficiais.*



Rio Tietê, na cidade de Salto (SP), abril de 2022.  
Fonte: Marcelo Pompêo.

*§ 9º Quando detectada a presença de cianotoxinas na água tratada, na saída do tratamento, será obrigatória a comunicação imediata a autoridade de saúde pública, às clínicas de hemodiálise e às indústrias de injetáveis.”*

A leitura do Capítulo VI, Art. 43º da Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021a), evidencia a necessidade de acompanhar a concentração de clorofila-a, a densidade de células de cianobactérias e a presença de cianotoxinas nas águas brutas, prioritariamente as microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas. Mas, do ponto de vista do monitoramento ambiental, para a construção de séries históricas, a Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, op cit.) foi um retrocesso, ao substituir o Anexo XX da Portaria de Consolidação n. 5 (BRASIL, 2017), ao flexibilizar parâmetros essenciais como a clorofila-a e a densidade de células de cianobactérias.

Segundo a nova Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021a) em vigor, no parágrafo 1º, item III, do Art. 43º, “o monitoramento de clorofila-a descrito no § 1º deste Artigo pode ser substituído pelo monitoramento mensal de cianobactérias no ponto de captação, atendendo o limite de contagem de células de cianobactérias menor ou igual a 10.000 células/ml.” Além disso, segue na Portaria, no parágrafo 3, “alternativamente ao monitoramento de cianobactérias pode ser realizado o monitoramento semanal de cianotoxinas na água bruta (entrada da ETA)” e no item I desse parágrafo, “quando o monitoramento de cianotoxinas for realizado semanalmente na água bruta, fica dispensada a realização do monitoramento de cianobactérias e clorofila-a no ponto de captação”.

Nesse contexto, isso implica que, na dependência de como for estabelecido o programa de monitoramento pela empresa gestora, é possível não ter dados históricos da concentração de clorofila-a ou mesmo da densidade de células de cianobactérias e do fitoplâncton total. Além disso, a falta de uma listagem das espécies presentes a cada monitoramento no manancial, em especial das cianobactérias, praticamente inviabiliza a compreensão dos processos biológicos que governam o crescimento desses organismos, fundamentais para a definição de programas eficazes de monitoramento e manejo.

Hoje ainda há o Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua). Este consiste “no conjunto de ações adotadas continuamente pelas autoridades de saúde pública para garantir à população o acesso à água em quantidade suficiente e qualidade compatível com o padrão de potabilidade, estabelecido na legislação vigente, o Anexo XX da Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021a) da Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017), como parte das ações de prevenção dos

*agravos transmitidos pela água e de promoção da saúde, previstas no Sistema Único de Saúde (SUS). As ações do Vigiagua são desenvolvidas pelas Secretarias de Saúde Municipais, Estaduais, e do Distrito Federal e pelo Ministério da Saúde, por meio da Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental” (SISAGUA).*

O Sisagua (Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano) “*é um instrumento do Vigiagua que tem como finalidade auxiliar o gerenciamento de riscos à saúde a partir dos dados gerados rotineiramente pelos profissionais do setor saúde (Vigilância) e responsáveis pelos serviços de abastecimento de água (Controle) e da geração de informações em tempo hábil para planejamento, tomada de decisão e execução de ações de saúde relacionadas à água para consumo humano*” (SISAGUA).

Atualmente, muitos sistemas de abastecimento hídrico enfrentam desafios para se adequarem aos padrões estabelecidos pelas Portarias e Resoluções do Ministério da Saúde. O conhecimento e a divulgação de dados públicos são fundamentais para conhecer a qualidade da água disponível nos mananciais brasileiros (BRONSTEIN, 2023). Isso possibilita avaliar as entidades responsáveis e orientar os consumidores, pois se trata de um direito básico e constitucional, além de contribuir para o monitoramento ambiental, a preservação da biodiversidade aquática e a saúde humana (BARRETO et al., 2014). O Sisagua, mostrou-se uma ferramenta promissora, de grande importância para o gerenciamento dos reservatórios brasileiros, mas que requer melhorias (BRONSTEIN; MOSCHINI-CARLOS, 2024).

Em relação ao manejo, a Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021a), no seu parágrafo 8 define “*as autoridades ambientais e de recursos hídricos definirão a regulamentação das excepcionalidades<sup>1</sup> sobre o uso de algicidas nos cursos d’água superficiais*”. Esse ponto merece uma consideração à parte, especialmente no que se refere ao uso dos algicidas.

## **OS ALGICIDAS: SULFATO DE COBRE PENTAHIDRATADO E PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO**

Os algicidas empregados no controle do crescimento de organismos considerados indesejáveis no Brasil, como as algas, são normalmente o sulfato de cobre pentahidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) intercalado com aplicações de peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 50 volumes, este último conhecido popularmente como água oxigenada. Os algicidas são aplicados na água

---

<sup>1</sup> Grifo dos autores deste livro.

superficial por meio de embarcações, dependendo da densidade observada e do grupo algal presente. Inicialmente era aplicado apenas o sulfato de cobre e, em decorrências de críticas pelo aporte de cobre, potencialmente tóxico ao ambiente, em especial ao sedimento, foram iniciadas as aplicações de peróxido, mas sem eliminar o uso do sulfato. Por outro lado, o peróxido se degrada rapidamente em água e oxigênio, no entanto, tem ação inespecífica, podendo causar irritação e até a morte dos organismos que tiverem contato durante as aplicações e não apenas dos organismos alvo, que são as algas (HUISMAN et al., 2018).

No estado de São Paulo, a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), de modo nada excepcional, como definido pela Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021a), há praticamente 50 anos faz aplicações regulares de sulfato de cobre e há mais de 30 anos de peróxido em alguns reservatórios (MANCUSO, 1987; ROCHA, 1999), entre eles o Jundiá, Guarapiranga e o braço Rio Grande. Apenas para o braço Rio Grande, do Complexo Billings, os registros indicam, por exemplo, aplicações em 2012 de 51 dias com peróxido (487 kg) e 18 dias com sulfato de cobre (70 kg); em 2013, 20 dias (160 kg) e 10 dias (40 kg), respectivamente; em 2014, 50 dias (480 kg) e 19 dias (80 kg); e em 2015, 20 dias (181 kg) e 26 dias (100 kg) (SABESP, comunicação pessoal). Já no reservatório Paiva Castro, na cidade de Mairiporã, o último reservatório do Sistema Cantareira, cujo sistema de reservatórios abastece 9 milhões de habitantes da RM de São Paulo, as aplicações de sulfato de cobre ocorrem desde 1995 e distantes do corpo central, no principal canal de acesso ao reservatório (CARDOSO-SILVA et al., 2016ab). Este cobre deposita-se no fundo do reservatório impactando a qualidade do sedimento (MARIANI; POMPÊO, 2008; POMPÊO et al., 2013; LEAL et al., 2018; FERREIRA, 2022; BIAMONT-ROJAS et al., 2023). Dessa forma, a regular aplicação de sulfato de cobre prejudica os serviços ecossistêmicos oferecidos pelos mananciais manejados com esse composto.

Segundo a COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2023), o uso de algicidas, como o sulfato de cobre, para o controle de algas e do crescimento de cianobactérias é vedado em mananciais de abastecimento. Ainda de acordo com o órgão, estudos reunidos pela Organização Mundial da Saúde relatam concentrações de microcistinas de até 1,8 mg/l após o uso de algicidas em natas densas de florações de cianobactérias. Argumenta também que, uma vez que as microcistinas são moderadamente resistentes à degradação química e microbiológica (meia-vida de 0,2 a 5 dias), a retomada da captação e tratamento da água somente deveria ocorrer após a vigilância e o controle das concentrações máximas permissíveis das cianotoxinas nas águas brutas. Deste modo, apesar de

discorrer sobre a impossibilidade do uso de algicidas nas águas de abastecimento, a própria CETESB sugere a possibilidade de sua captação, desde que respeitado um período de quarentena após as aplicações.



Embarcação empregada para as aplicações rotineiras de sulfato de cobre pentahidratado no reservatório Guarapiranga (São Paulo, SP), em maio de 2009. Fonte: Marcelo Pompêo.

A própria Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021a), no Capítulo VI, *Dos Planos de Amostragem de Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano*, Art. 43, no parágrafo 7º define que “*em função dos riscos à saúde associados às cianotoxinas, é vedado o uso de algicidas para o controle do crescimento de microalgas e cianobactérias no manancial de abastecimento ou qualquer intervenção que provoque a lise das células*”. Mas no parágrafo 8º, como já comentado, a Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021a) define que “*as autoridades ambientais e de recursos hídricos definirão a regulamentação das excecionalidades sobre o uso de algicidas nos cursos d’água superficiais*”. Portanto, o uso dos algicidas passa a ser autorizado.

O crônico problema da qualidade das águas brutas em São Paulo: críticas e sugestões

Marcelo Pompêo, Sheila Cardoso-Silva, Viviane Moschini-Carlos

USP, UNESP e UNIFAL

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

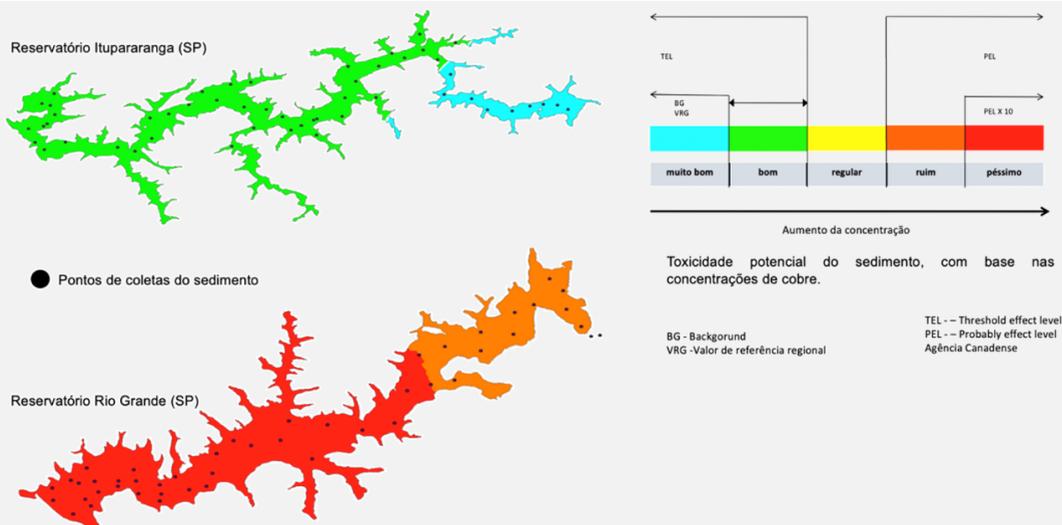
## A RESOLUÇÃO CONAMA nº 467

A Resolução CONAMA nº 467 (BRASIL, 2015), no Art. 1º, estabelece os *“critérios e procedimentos para a avaliação, pelos órgãos ambientais, das solicitações de autorização de uso de produtos e de agentes de processos físicos, químicos ou biológicos em corpos hídricos superficiais com a finalidade de: “I - controle populacional de espécies que estejam causando impacto negativo ao meio ambiente, à saúde pública ou aos usos múltiplos da água; e II - controle de poluição em corpos hídricos superficiais. Parágrafo único. É proibido o uso de produtos e de agentes de processos físicos, químicos ou biológicos sem o prévio registro dos mesmos, nos termos da legislação vigente.”* No Art. 7º a Resolução CONAMA nº 467 (BRASIL, op cit.) define a *“autorização para uso de produtos e processos físicos, químicos ou biológicos, em mananciais de abastecimento público, deve ser informada às secretarias municipais de saúde pelo órgão ambiental competente, especialmente no controle da proliferação de cianobactérias”* e no Art. 8º, *“a autorização para uso de produtos e processos físicos, químicos ou biológicos, deve ser informada pelo órgão ambiental competente ao órgão gestor de recursos hídricos.”*

Assim, após as publicações da Resolução CONAMA nº 467 (BRASIL, 2015) e da Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021a), foram apresentadas as premissas legais que visam dar respaldo jurídico, disciplinar e autorizar as aplicações de algicidas em reservatórios em todo o território nacional, inclusive daqueles empregados no abastecimento público. A leitura da Resolução CONAMA nº 467 (BRASIL, op. cit.) deixa claro que ainda poderão ser utilizados outros compostos químicos, além do peróxido ou sulfato, para o controle *“populacional de espécies que estejam causando impacto negativo ao meio ambiente, à saúde pública ou aos usos múltiplos da água”*. Assim, fica instituído o uso de algicidas como uma clara política pública nacional para o controle do crescimento de organismos, desde que autorizados e mesmo que não sejam empregados de modo eventual, mas rotineiro e por décadas, como ocorre nos reservatórios Rio Grande e Guarapiranga (SP), entre outros mananciais.

Deste modo, as normativas que deveriam principalmente proteger o meio ambiente trazem em seu bojo a possibilidade de impactar a qualidade das águas e dos sedimentos, desta vez com metais como o cobre, pelo emprego do sulfato de cobre como algicida. Além disso, outros compostos químicos, como o diuron (HUISMAN et al., 2018), também passam a ser potencialmente permitidos, conforme previsto na Resolução CONAMA nº 467 (BRASIL, 2015). Mais uma vez, os usos antrópicos do manancial e as formas de manejo adotadas são legalmente garantidos. No entanto, não há a devida

garantia quanto à preservação dos serviços ecossistêmicos e, no longo prazo, a sustentabilidade dos reservatórios, especialmente daqueles manejados com algicidas, como o sulfato de cobre.



Legenda:

**Muito bom** = concentração de cobre igual ou inferior ao VRR ou BG.

**Bom** = concentração de cobre superior ao VRR e igual ao TEL.

**Regular** = concentração de cobre superior ao TEL e igual ao PEL.

**Ruim** = concentração de cobre superior ao PEL e igual a 10 vezes a PEL.

**Muito ruim** = concentração de cobre superior a 10 vezes a PEL.

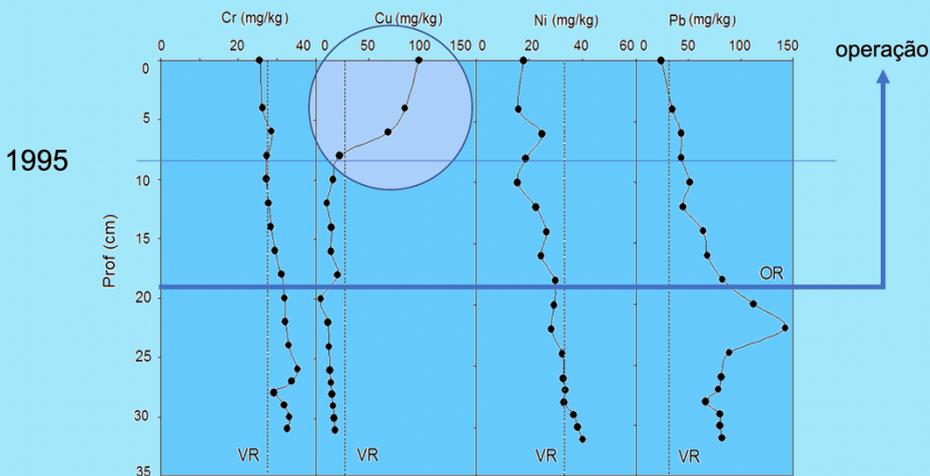
As concentrações de cobre referentes a TEL e PEL seguem CCME (1999).

Toxicidade potencial dos sedimentos dos reservatórios de Itupararanga (Ibiúna, SP) e do braço Rio Grande (São Bernardo do Campo, SP), com base nas concentrações de cobre no sedimento superficial. Fonte: Biamont-Rojas et al. (2023).

Adicionalmente, a Resolução CONAMA nº 467 (BRASIL, 2015), bem como outras legislações correlatas, não deixa claro se haverá um período de quarentena a ser respeitado, durante o qual a água bruta não poderá ser

captada, após as aplicações dos algicidas e de outros compostos químicos, em especial nas águas empregadas no abastecimento público. Também não disciplina no Art. 10º ou nos demais se, além da empresa municipal diretamente responsável pela captação, outro órgão do Estado ou contratado legalmente acompanhará e monitorará de modo independente as aplicações e suas consequências. Unicamente dá a entender que estes serão notificados pelos responsáveis, para obter a autorização. Assim, depois de autorizado, terão liberdade para aplicar o acordado, mas sem acompanhamento externo, o que ocorrerá apenas após o fato consumado, por meio de relatórios internos, posteriormente entregues ao órgão responsável.

Em Pompêo (2017) são apresentadas outras considerações sobre o uso de algicidas nos mananciais, em especial em decorrência da publicação da Resolução CONAMA nº 467 (BRASIL, 2015), chamando a atenção para os potenciais impactos ambientais e os desafios da gestão desses compostos em ambientes empregados para o abastecimento público.



Perfis verticais das concentrações de cromo, cobre, níquel e chumbo no sedimento do reservatório Paiva Castro, Mairiporã, SP, na zona da barragem.

OR - indica o início da operação do reservatório;  
VR - são os valores de referência regional, sugeridos pelo autor; e  
1995 - indica o ano no sedimento datado, no qual são observados o aumento das concentrações de cobre, em decorrência das aplicações de sulfato de cobre no canal do reservatório.

Fonte: Cardoso-Silva et al. (2016).



Floração de algas no braço do rio Piracicaba, no reservatório de Barra Bonita (Dois Córregos, SP), em 5 de novembro de 2024. Fonte: Marcelo Pompêo.

## ESTUDOS DE CASOS

As preocupações quanto à qualidade das águas não se restringem apenas para os mananciais localizados próximos à RM de São Paulo. Estudos mais recentes têm sugerido que boa parte das massas de água do estado, sejam rios ou reservatórios, encontra-se com tendência de redução de sua qualidade. Neste documento, não se pretende esgotar o assunto, mas apresentar exemplos visando ilustrar esse fato. A experiência prévia dos autores deste manuscrito nos estudos de inúmeros reservatórios e outras literaturas consultadas, corroboram esta afirmação. Entre outras fontes, recomenda-se aos interessados a consulta aos Relatórios de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo, oficialmente publicados pela CETESB.

A seguir, são apresentados alguns casos de estudos para importantes massas de águas do estado de São Paulo.

Em Pompêo (2024) são apresentados diversos estudos de casos e, entre eles, uma extensa análise sobre o reservatório de Barra Bonita, com uma abordagem comparativa entre os braços do rio Piracicaba e do rio Tietê, os principais formadores do reservatório. Nesse estudo comparativo, o autor empregou uma abordagem clássica em limnologia, com estudos da massa de água em perfil e por meio de sensoriamento remoto. O autor validou um modelo que permite estimar a concentração de clorofila-a (Chla) na massa de água superficial para ambos os braços. Deste modo, obteve uma série histórica com dados mensais de Chla por meio das imagens dos satélites Sentinel-2 A e B, relativas aos anos de 2016 a 2022, estudado sob técnicas de análise de séries temporais. O autor observou que, em média, o braço do Piracicaba apresentou menores valores de Chla ( $17,65 \pm 10,72 \mu\text{g/l}$ ), quando comparado com o braço do Tietê ( $31,89 \pm 15,41 \mu\text{g/l}$ ). No entanto, as análises estatísticas empregadas sugerem que há uma tendência de aumento mensal da Chla para o Piracicaba, enquanto que no Tietê essa tendência não é tão marcante. Caso essa tendência de aumento mensal observada para o Piracicaba se mantenha, é esperado que em poucos anos esse braço apresente Chla nos níveis observados para o braço do Tietê. Ao se concretizar esta tendência, isso significará na ampliação dos problemas decorrentes da degradação da qualidade das águas de Barra Bonita, trazendo preocupações adicionais aos problemas hoje existentes, o que comprometerá a sustentabilidade e os usos futuros desse manancial.



Sedimento coletado no reservatório Rio Grande (Sistema Billings, São Bernardo do Campos, SP), para estudos em perfil (datação e concentração de metais). Fonte: Marcelo Pompêo.

O crônico problema da qualidade das águas brutas em São Paulo: críticas e sugestões

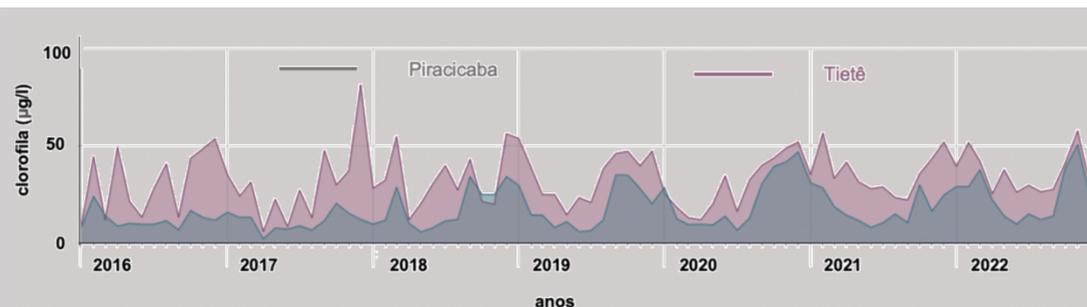
Marcelo Pompêo, Sheila Cardoso-Silva, Viviane Moschini-Carlos

USP, UNESP e UNIFAL

<http://ecologia.ib.usp.br/portaal/cronico/>

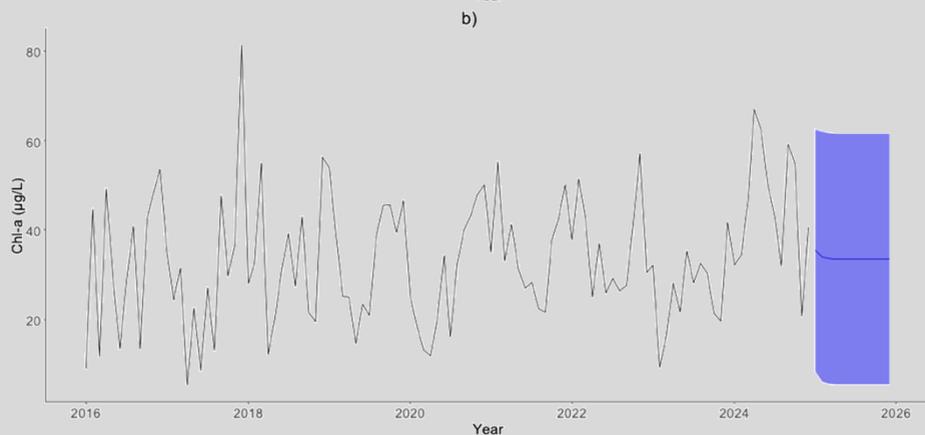
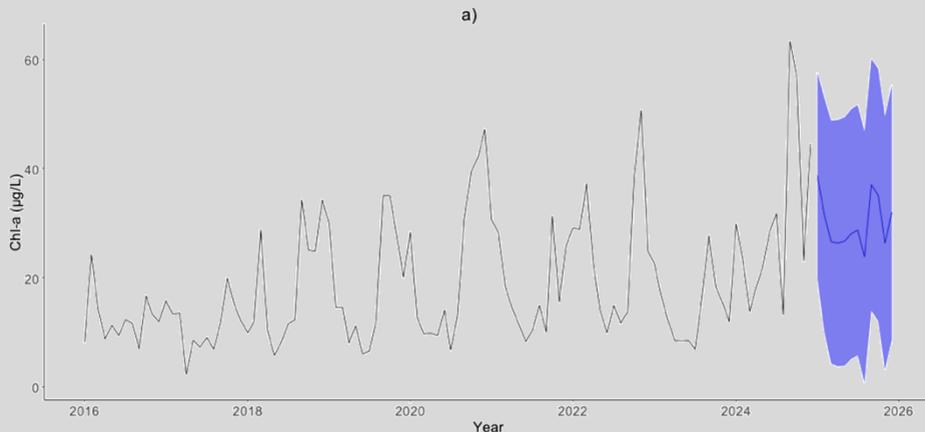
Seguindo os mesmos procedimentos empregados por Pompêo (2024), mas incorporando os anos de 2023 e 2024 à mesma série histórica de Chla para os braços de Barra Bonita, Lauriuchi (dados não publicados)<sup>2</sup> observou a mesma tendência. Nesse novo estudo com a base de dados ampliada, os valores médios de Chla no Tietê apresentaram-se estabilizados, com média de  $33,55 \pm 14,30 \mu\text{g/l}$ , enquanto que no Piracicaba, com média de  $18,87 \pm 11,80 \mu\text{g/l}$ , as análises estatísticas sugerem tendência de aumento mensal, como observado por Pompêo (2024), com coerência significativa com a mesma periodicidade temporal.

Em ambas as análises, de Pompêo (2024) e de Lauriuchi (dados não publicados), foi observada uma sazonalidade, com valores de Chla mais elevados no verão e mais baixos no inverno. Essa sazonalidade foi atribuída às maiores concentrações de nutrientes que entram pela bacia hidrográfica (BARBOZA; TEIXEIRA-FILHO, 2013ab), principalmente por fontes difusas, mais marcantes no período de maiores chuvas. Além disso, o fitoplâncton também é influenciado pelas maiores temperaturas observadas no mesmo período. Urbanski; Nogueira (2024) observaram o mesmo padrão anual, para uma porção do rio Tietê e alguns de seus tributários. Pompêo (op cit.), no seu estudo de casos, também apresentou outros trabalhos desenvolvidos no final do século passado e com diferentes abordagens, demonstrando esse mesmo padrão anual de sazonalidade para a Chla no reservatório de Barra Bonita.



Médias mensais das estimativas das concentrações de clorofila, para os anos de 2018 até 2022, por meio das imagens dos satélites Sentinel 2 A e B, dos braços do Piracicaba e do Tietê, para o reservatório de Barra Bonita. Fonte: Pompêo (2024).

<sup>2</sup> Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de Sorocaba, SP.



Gráficos do modelo ARIMA mostrando a variação da concentração de clorofila (Chl-a) ao longo do tempo no braço Piracicaba (PIR) e a previsão de 12 meses; e (b) Gráfico a variação ao longo do tempo no braço do Tietê (TIE) e a previsão de 12 meses, para o reservatório de Barra Bonita. Fonte: Geissielen Andrade Lauriuchi, dados não publicados.

Já nos estudos em perfil, Pompêo (2024) determinou expressiva camada de água com concentrações de oxigênio dissolvido (OD) em condições de anoxia próximo ao fundo para ambos os braços de Barra Bonita. Para o Piracicaba essa porção anóxica representou uma camada de água de mais de 2 m, enquanto que no Tietê representou mais de 4 m. Ao analisar a condutividade elétrica (CE) para uma série histórica de 1986 até 2021, obtidos na base de dados da CETESB (*Infoáguas*), para o ponto de coleta localizado imediatamente após o vertedouro do reservatório, foi observada uma tendência estatisticamente significativa de aumento da CE, segundo o teste de tendência Mann-Kendall ( $S = 2016$ ;  $Z = 4,0557$ ;  $p$  - no trend =  $4,9977 \times 10^{-5}$ ), efetuado no *Past 4.15* (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

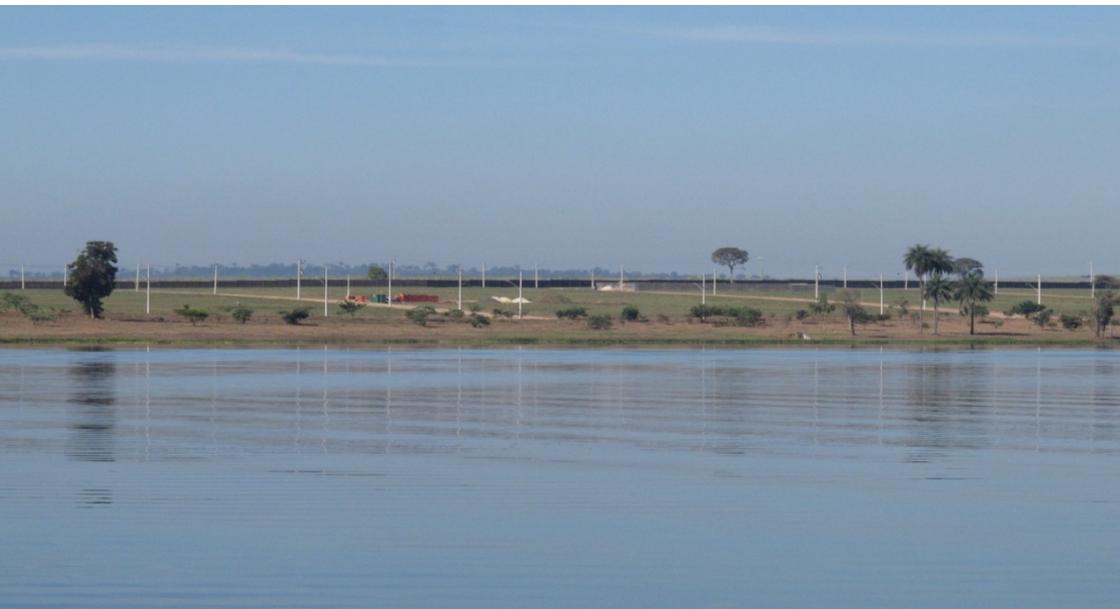
O crônico problema da qualidade das águas brutas em São Paulo: críticas e sugestões

Marcelo Pompêo, Sheila Cardoso-Silva, Viviane Moschini-Carlos

USP, UNESP e UNIFAL

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

No presente, no reservatório podem ser observados valores de CE superiores a 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , enquanto que na década de 1970 estava por volta de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI; ABE, 2008), podendo ser considerado elevado para a época.



Condomínio em fase de implantação na margem esquerda do braço do rio Piracicaba (Anhembi, SP), no reservatório de Barra Bonita, SP, em junho de 2025. Fonte: Marcelo Pompêo.

O reservatório de Barra Bonita está enquadrado na Classe 2, segundo a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). Essa classe define que a concentração de OD em qualquer amostra, não poderá ser inferior a 5 mg/l, que a Chla não poderá ser superior a 30  $\mu\text{g}/\text{l}$  e que o pH deverá estar entre 6,0 a 9,0. Os dados apresentados em Pompêo (2024), mostram que para a massa de água superficial, as concentrações de OD podem ser próximas de 10 mg/l ou com valores até superiores, em decorrência das elevadas concentrações de Chla observadas nos braços, em alguns momentos muito acima dos 30  $\mu\text{g}/\text{l}$ , o padrão estabelecido para a Classe 2.

O crônico problema da qualidade das águas brutas em São Paulo: críticas e sugestões

Marcelo Pompêo, Sheila Cardoso-Silva, Viviane Moschini-Carlos

USP, UNESP e UNIFAL

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

Entretanto, nas camadas mais profundas ocorrem níveis críticos de anoxia. Em decorrência dessa elevada Chla, o fitoplâncton fotossinteticamente ativo, impacta a qualidade da água, assimilando o CO<sub>2</sub> disponível e, portanto, elevando o pH a valores que podem ser acima de 9, na porção superior da massa de água. Além disso, segundo este autor, os mapas temáticos mensais gerados por sensoriamento remoto demonstram que podem ser muito expressivas as porções de cada braço com Chla, muito superiores aos 30 µg/l, também observado por Lauriuchi (dados não publicados) para os anos de 2023 e 2024. Portanto, baseado nesses fatos, é possível concluir que o reservatório de Barra Bonita está há pelo menos uma década em não conformidade à sua classe de enquadramento.

Segundo Pompêo (2024), *“são urgentes ações mais significativas ao longo da bacia hidrográfica de Barra Bonita. Essas medidas demandam um esforço conjunto de todos os atores envolvidos, do poder público ao privado, visando reduzir o aporte de nutrientes de fontes pontuais e difusas”*. De acordo com esse autor, *“historicamente, essas fontes têm exercido um impacto adverso considerável na qualidade da água do reservatório. Com base nas diferenças observadas entre os braços, em especial pela forte tendência mensal de aumento da concentração de clorofila no Piracicaba”*, conforme demonstrado por ambas as análises estatísticas (POMPÊO 2024; LAURIUCHI, dados não publicados), *“caso não sejam aplicadas ações de controle para reduzir o aporte de nutrientes, espera-se a persistência dos elevados padrões de eutrofização em Barra Bonita”*. Pompêo (op cit.) concluiu que *“infelizmente, os dados sugerem que a degradação da qualidade da água no reservatório tende a se intensificar, sendo o braço do Piracicaba o principal protagonista nesse cenário”*. Como observado pelo autor, *“esta constatação também expõe a fragilidade da legislação brasileira, sugerindo que, no seu todo, ela não tem o arcabouço jurídico necessário para exercer o poder de controle e de comando, quando o objetivo é reverter quadros de degradação da qualidade da água, como observado em Barra Bonita. Sugere também que a legislação não tem definidos os meios jurídicos para fiscalizar e controlar os agentes responsáveis por aplicar a norma”*, ou simplesmente não há interesse político na sua aplicação.

Urbanski; Nogueira (2024), estudando a fauna piscícola do rio Tietê e de alguns tributários, à montante do reservatório de Barra Bonita, também observaram má qualidade da água de muitos pontos de coletas. Discorrem que um trecho de 40 km do rio Tietê é altamente degradado em termos de qualidade da água, sem quaisquer sinais de resiliência ao impacto destrutivo causado pelas enormes cargas de poluição que recebe continuamente. Seguem os autores que a classificação oficial de Classe 2, relativo à Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), está longe da condição atual do

rio, com não conformidades recorrentes em relação aos limites padrão, e deveria ser revisada pelas autoridades. Como um agravante, os autores também concluíram que a excessiva eutrofização do rio Tietê atua como uma barreira química para a dispersão de espécies de peixes sensíveis ou menos tolerantes.



Usina Fotovoltaica Flutuante (Uff Araucária) na represa Billings (São Paulo, SP), próximo à Elevatória Pedreira, em 19 de maio de 2025. Também pode ser observado grande florescimento algal entre as boias. Fonte: Marcelo Pompêo.

O crônico problema da qualidade das águas brutas em São Paulo: críticas e sugestões

Marcelo Pompêo, Sheila Cardoso-Silva, Viviane Moschini-Carlos

USP, UNESP e UNIFAL

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

Silva; Matsumura-Tundisi (2002), estudando os reservatórios em cascata no rio Tietê, determinaram valores de CE para esses reservatórios de 182  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para Barra Bonita, de 101  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para Nova Avanhandava, de 95  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para Promissão e de 107  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para Três Irmãos. Pompêo (2024), entretanto, observou valores significativamente mais elevados em Barra Bonita na casa de 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Para os reservatórios de Promissão, Nova Avanhandava e Três Irmãos, Pompêo (dados não publicados)<sup>3</sup> determinou valores na casa de 250, 255 e 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivamente, na água superficial, o que indica a presença de maiores concentrações de íons na massa de água atual, quando comparado com o estudo pregresso.

A montante da barragem de Promissão, na estação de coleta TIPR02990, próximo ao vertedouro, o monitoramento é realizado pela CETESB. Nesta estação, a CE relativa à série histórica de outubro de 2007 a abril de 2025, obtido no *Infoáguas*, segundo o teste de tendência de Mann-Kendall, apresenta uma tendência crescente estatisticamente significativa ( $S = 1446$ ;  $Z = 2095$ ;  $p - \text{no trend} = 1,8936 \times 10^{-7}$ ). Da mesma forma, para o reservatório de Três Irmãos, no ponto de monitoramento TITR02800 da CETESB, na ponte na rodovia SP-563, no trecho que liga Pereira Barretos a Andradina, também pode ser observada tendência de aumento da CE para a série histórica de janeiro de 2000 até dezembro de 2024 ( $S = 2758$ ;  $Z = 5,1311$ ;  $p - \text{no trend} = 2,8806 \times 10^{-7}$ ). Estas recentes observações, decorridos cerca de 20 anos após os estudos de Silva; Matsumura-Tundisi (2002), sugerem que os reservatórios em cascata no rio Tietê se apresentam com pior qualidade, quando comparado com esse estudo. Já os testes estatísticos de tendência trazem preocupações adicionais, pois sugerem que a interferência na qualidade da água é recorrente e provavelmente reflexo dos usos da bacia hidrográfica, que parece se agravar ao longo do tempo, visto terem sido observadas tendências estatisticamente significativas de aumento da CE para os próximos anos.

Outro importante manancial que também trás preocupações quanto à sua qualidade é o reservatório de Itupararanga (Ibiúna, SP). Este reservatório abastece e suas águas cortam a cidade de Sorocaba (SP). Santos-Machado et al. (2022) realizaram estudos entre os anos de 2016 e 2017 nesse reservatório. Estes autores observaram a ocorrência permanente de *Raphidiopsis raciborskii*, uma cianobactéria, variando entre dominante e abundante, com uma média de biomassa de  $38,8 \pm 29,9$  mg/l. Também outras espécies de cianobactérias foram abundantes, como *Dolichospermum solitarium*, *D. planctonicum*, *Planktothrix isothrix* e *Aphanizomenon gracile*. Relativo à saxitoxina (STX), os autores detectaram sua presença em todas

---

<sup>3</sup> Marcelo Pompêo, USP, IB, Depto de Ecologia.

as amostras analisadas, com concentração média de  $0,11 \pm 0,05 \mu\text{g/l}$ . Já a microcistina (MC) também foi detectada, mas em concentrações mais baixas ( $0,01 \mu\text{g/l}$ ). A baixa disponibilidade de nitrato e a limitação por fósforo, segundo as análises dos autores, tiveram efeitos significativos na biomassa de *R. raciborskii* e nos níveis de STX e MC. Este estudo sugeriu que *R. raciborskii* foi sensível à estratificação térmica, ao mesmo tempo em que os níveis de STX foram maiores. Os autores concluíram que provavelmente a STX foi produzida em condições que restringiam o crescimento de *R. raciborskii*. Estes são achados importantes, como comentado pelos autores, pois acrescentam informações sobre a ocorrência permanente de STX e *R. raciborskii* em um ecossistema aquático limitado pelo fósforo, vulnerável a variações climáticas e impactado por efluentes domésticos. De modo semelhante, Moschini-Carlos et al. (2009) demonstrou a presença de variantes de cianotoxinas no reservatório Billings e, mais recentemente, Moschini-Carlos et al. (2024) detectou MC e STX na massa de água superficial de inúmeros reservatórios paulistas.

Pompêo et al. (2024), também trabalhando com o reservatório de Ituparanga, demonstraram que em média o reservatório apresentou-se como supereutrófico no ano de 2015 e eutrófico nos anos de 2016, 2017 e 2018. Nesse mesmo período foi observada predominância de cianobactérias no fitoplâncton total, com no mínimo, mais de 70.000 células de cianobactérias por ml. Deste modo, nos anos estudados o reservatório não se apresentou em conformidade à sua classe de enquadramento, a Classe 2, segundo a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), ao menos para o número de células de cianobactérias e Chla.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento e o manejo de cianobactérias e cianotoxinas em mananciais de abastecimento público, conforme estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021a), representam avanços importantes no reconhecimento dos riscos à saúde pública associados às florações de cianobactérias. No entanto, ao flexibilizar o tipo e a frequência das análises exigidas, permitindo, por exemplo, a substituição do monitoramento de clorofila-*a* pelo de cianobactérias, ou ainda a substituição do monitoramento de cianobactérias e clorofila-*a* por análises apenas de cianotoxinas, deixa a normativa fragilizada. Todos os dados de monitoramento das cianobactérias como densidade, biovolume, clorofila-*a* e cianotoxinas, somados aos físicos e químicos da água, permitem a construção de séries históricas robustas, fundamentais para o entendimento dos processos ecológicos subjacentes à floração desses organismos.

Além disso, embora a Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021a) reconheça os riscos do uso de algicidas nos mananciais e proíba a aplicação de produtos que causem lise celular, ela abre a possibilidade de seu uso ser realizado sob regulamentações específicas, as quais ainda carecem de definição clara por parte das autoridades ambientais. Tal brecha na normativa tem permitido, na prática, a continuidade de aplicações sistemáticas de sulfato de cobre e peróxido de hidrogênio em importantes mananciais, como o Rio Grande (Complexo Billings) e Guarapiranga (SP). O cobre presente no algicida acumula-se nos sedimentos, impactando as comunidades biológicas, o que compromete os serviços ecossistêmicos, dos quais dependem a vida das pessoas, como comentado neste manuscrito.



*Pistia stratiotes* e *Eichhornia crassipes* no canal de acesso do rio Tietê ao reservatório de Biritiba-Mirim (Biritiba-Mirim, SP), em maio de 2017. Fonte: Marcelo Pompêo.

A Resolução CONAMA nº 467 (BRASIL, 2015), por sua vez, não define claramente o protocolo pós-aplicação de algicidas, como a necessidade de quarentena da água bruta antes de sua captação e tratamento, tampouco estabelece mecanismos eficazes de fiscalização ou acompanhamento independente das intervenções realizadas.

A própria Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), que disciplina os tipos de usos das águas doces, traz no seu bojo a possibilidade de oficialmente impactar a qualidade das águas, ao permitir o enquadramento de alguns mananciais na Classe 4, o que deveria ser evitado.

Já os estudos de caso sugerem que a qualidade das águas segue a tendência de se deteriorar na maior parte do estado de São Paulo, o que pode ser estendido ao Brasil como um todo (TORREMORELL et al., 2021). Estes estudos também demonstram que as normativas existentes, por si só, não são suficientes para reverter o quadro de degradação observado e que em muitos casos se mostra crescente.

Diante desse cenário, é urgente revisar e integrar os marcos legais que tratam da qualidade das águas, da saúde pública e da proteção ambiental, em particular, garantindo não apenas o controle das florações de cianobactérias, mas também a preservação dos processos ecológicos, seus serviços ecossistêmicos e, principalmente, a sustentabilidade dos mananciais. A adoção de estratégias preventivas, baseadas em conhecimento ecológico, decorrente de um monitoramento contínuo, com controle da carga de nutrientes e transparência nas informações, deve substituir práticas paliativas como o uso de algicidas, que negligenciam os impactos cumulativos de longo prazo sobre os ecossistemas aquáticos, prejudicando usos futuros do manancial e sua sustentabilidade.

Ainda relativo à Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), esta foi publicada há 20 anos. Por conta disso, para inúmeros compostos, como os microplásticos, por exemplo, não há obrigatoriedade para o seu monitoramento (POMPÊO; RANI-BORGES; PAIVA, 2022). Mas, da mesma forma que para os microplásticos, a presença de outros compostos emergentes nos ecossistemas aquáticos representa um risco potencial à biota e à saúde pública, em decorrência dos efeitos adversos significativos sobre a saúde dos organismos, tais como alterações no crescimento, na reprodução e na sobrevivência de muitas espécies (OVERTURF et al., 2015; SRAIN; BEAZLEY; WALKER, 2021). Desse modo, com urgência, deve ser constituído um grupo de trabalho para atualizar esta Resolução à luz dos novos conhecimentos.

Também é fundamental criar zonas de amortecimento nas margens de rios e reservatórios, em especial naqueles empregados no abastecimento público. Estas barreiras ecológicas permitirão criar uma área que separa o manancial propriamente dito da região da bacia utilizada pelo homem. Deste modo, deveria ser proibida a construção de condomínios e campos de golfe imediatamente às margens dos reservatórios, ou mesmo o seu uso como área agriculturável, praticamente dentro da lâmina de água, por exemplo. Além disso, também devem ser mais restritos os usos do entorno e dos próprios mananciais empregados para o abastecimento público. A título de exemplo, na Espanha é terminantemente proibido entrar com motores a combustão nos reservatórios empregados no abastecimento público.



Tanques para cultivo de tilápia em um braço do reservatório de Três Irmãos, em Sud Mennucci (SP), em junho de 2025. Fonte: Marcelo Pompêo.

Vale destacar que ainda não há normativas claras que orientem as ações a serem adotadas frente às mudanças climáticas e seus efeitos sobre as comunidades fitoplanctônicas e a ocorrência de florações de cianobactérias. Sabe-se, entretanto, que o aumento da temperatura tende a

prolongar os períodos de estratificação térmica nos corpos d'água, reduzindo a mistura vertical das massas de água. Essa condição favorece o crescimento de espécies de tamanho pequeno, cuja elevada razão superfície/volume permite maior eficiência na captação de nutrientes, mesmo em ambientes com baixa disponibilidade, como é o caso das cianobactérias (WINDER; SOMMER, 2012). Outra vantagem das cianobactérias em ambientes estratificados é a presença de aerótopos, que lhes conferem flutuabilidade permitindo a ocupação de zonas mais favoráveis na coluna d'água. Além disso, alterações nos padrões de precipitação também influenciam a entrada de nutrientes nos mananciais, podendo modificar as condições ambientais e alterar as vantagens competitivas entre os diferentes grupos fitoplanctônicos (WINDER; SOMMER, op cit.). Complementando, processos de estratificação mais duradouros, impactam a massa de água mais profunda e sua comunidade biológica, em decorrência dos maiores tempos de eventuais episódios de anoxia. Além disso, também tem a potencialidade para ampliar a profundidade da camada anóxica, principalmente nos reservatórios mais eutróficos.



Usina Ipiranga Agroindústria (Iacanga, SP), vista da margem direita do braço do rio Piracicaba, à jusante do reservatório de Ibitinga, em junho de 2025. Fonte: Marcelo Pompêo.

O crônico problema da qualidade das águas brutas em São Paulo: críticas e sugestões

Marcelo Pompêo, Sheila Cardoso-Silva, Viviane Moschini-Carlos

USP, UNESP e UNIFAL

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

Como apresentado, a Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021a) define a necessidade de acompanhar a concentração de cianotoxinas nas águas brutas, prioritariamente as microcistinas, saxitoxinas e cilindrospermopsinas. Nestes casos, as quantificações podem ser executadas por meio de kits de relativo baixo custo, analisados por equipamentos que podem ser considerados rotineiros para um laboratório, como uma leitora e lavadora de placa Elisa, mantidos em laboratórios coordenados pelas agências de monitoramento estaduais. No entanto, para estudos mais detalhados, há obrigatoriedade para estudar as variantes das microcistinas, por exemplo, não avaliados pelos “kits Elisa”. A título de exemplo, apenas para as microcistinas há mais de 250 variantes (FASTNER; HUMPAGE, 2021). Para estes casos das variantes, são necessários equipamentos muito sofisticados e de custo excepcionalmente muito mais elevados do que o necessário para um leitor de placas Elisa, na casa de centenas de milhares de dólares. Isso impõe uma severa restrição a muitos estados brasileiros, para monitorarem estas variantes. Uma alternativa seria a constituição de laboratórios regionais, uma *facility*, para analisarem amostras provenientes de diversos estados.

Conclui-se que ainda há muito a ser feito para garantir melhor qualidade das águas dos mananciais brasileiros. A saúde dos ecossistemas aquáticos é frágil e seu futuro, incerto (FUNDACIÓN NUEVA CULTURA DEL AGUA, 2008). Assim, passa pelo maior controle sobre os usos do solo, visando restringir ou melhor disciplinar os usos que causam maior impacto ao manancial. Para tanto, há que ter estruturas de fiscalização e normativas que de fato deem ao Estado os meios legais para monitorar e, se necessário, adotar meios para impedir ações que comprometam a qualidade dos mananciais, sua sustentabilidade e eventuais problemas de saúde pública.

Para os rios e reservatórios mais impactados, devem ser idealizados monitoramento e manejo específicos para propor soluções adequadas aos problemas observados, baseados em soluções ambientais. Nestes casos, espera-se recompor funções ecológicas e garantir a sustentabilidade do manancial para usos futuros, além de reduzir eventuais impactos sobre a saúde pública e da biota. Portanto, espera-se a manutenção de um bom potencial ecológico para os reservatórios e de um bom estado ecológico para os rios impactados, como definidos pela Diretiva Quadro da Água, da Comunidade Europeia (CARDOSO-SILVA; FERREIRA; PÔMPEO, 2013). Mais vale prevenir do que curar (FUNDACIÓN NUEVA CULTURA DEL AGUA, 2008).

Para que isso ocorra, é necessário alterar muitas das normativas hoje vigentes, visto que várias delas não se mostram adequadas à proteção

ambiental. Do contrário, a qualidade da água dos mananciais paulistas e brasileiros tenderá a seguir esse quadro histórico de piora contínua, o que demandará pela busca por novos mananciais ainda pouco impactados, representando aumento nos custos de captação, tratamento e distribuição de água potável, isso se houver mananciais pouco impactados. Além disso, sem estas novas normativas é possível vislumbrar um meio ambiente cada vez menos saudável, resiliente e sustentável, que poderá potencializar inúmeros problemas de saúde pública.



Final do canal de acesso da água do reservatório Paiva Castro (Caieiras, SP), para o sistema de bombas visando seu tratamento na Estação de Tratamento de Água de Guaraú (SP). Nesse canal podem passar 33 m<sup>3</sup>/s. Fonte: Marcelo Pompêo.

É fundamental reforçar que as normas não devem ser responsáveis, direta ou indiretamente, pelos impactos negativos na qualidade do meio ambiente, em especial dos mananciais, como infelizmente se constata atualmente. As normativas vigentes devem sempre garantir um ecossistema saudável e promover a sustentabilidade de seus serviços ecossistêmicos, o que permitirá ter um menor impacto na saúde pública. Portanto, o Projeto de Lei nº 2159, que “*estabelece normas gerais para o licenciamento de atividade ou de empreendimento utilizador de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidor ou capaz de causar degradação do meio ambiente*” (BRASIL, 2021a), também conhecido como o “PL da Devastação”, recentemente aprovado pelo Senado, a título de destravar obras e o desenvolvimento do país para poucos, pretende afrouxar o licenciamento ambiental, permitindo que grandes empreendimentos sejam construídos sem a necessidade dos estudos que hoje visam garantir a saúde e o bem-estar da maioria dos brasileiros e dos ecossistemas. Essa medida contraria frontalmente os princípios defendidos neste documento. Da mesma forma, a recente autorização por parte do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente) para a exploração de petróleo na foz do rio Amazonas. Caso ambas as iniciativas se mantidas sem revisão, teremos um meio ambiente menos diverso, menos resiliente e mais impactado, o que refletirá na piora da qualidade dos mananciais. Isso certamente trará novas preocupações para a geração de emprego e renda, bem como para a saúde pública e do planeta.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. O. P. O.; SÁNCHEZ, L. E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 47-54, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/G345NPKjFZtvQPdjVtCj3Nm/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 mai. 2025.
- AZEVEDO, S. M. F. O. Toxinas de cianobactérias: causas e consequências para a saúde pública. **Medicina On line. Revista Virtual de Medicina**, v. 1, n. 3, 1998. Disponível em: <https://letr.biof.ufrj.br/sites/default/files/1998%20Azevedo%20Toxinas.pdf>. Acesso em: 20 de mai. 2025.
- BARBOZA, G. C.; TEIXEIRA FILHO, J. Modelagem da carga de fósforo na bacia do rio Piracicaba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: ABRH, 2013a. Disponível em: <http://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=155&SUMA>

[RIO=3603&ST=modelagem da carga de fosforo na bacia do rio piracicaba](#). Acesso em: 15 ago. 2023.

BARBOZA, G. C.; TEIXEIRA FILHO, J. Simulação da carga de nitrogênio na bacia do rio Piracicaba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais** [...]. Bento Gonçalves: ABRH, 2013b. Disponível em: [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/a10ce689e1f53399f622905ec581e6fd\\_0f745d97a1583e0c810f4c99290248e0.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/a10ce689e1f53399f622905ec581e6fd_0f745d97a1583e0c810f4c99290248e0.pdf). Acesso em: 15 ago. 2023.

BARRETO, L. V. et. al. Relação entre vazão e qualidade da água em uma seção de rio. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 1, p. 118-129, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br//ambiagua/a/KFZD4hBCKkKWKHSWqFMSZJFh/>. Acesso em: 12 mai. 2025.

BIAMONT-ROJAS, I. E. et al. Ecotoxicology and geostatistical techniques employed in subtropical reservoirs sediments after decades of copper sulfate application. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 45, p. 2415-2434, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-022-01362-1>. Acesso em: 12 dez. 2023.

BISPO, G. B. et al. The effects of natural forest and eucalyptus plantations on seven water-related ecosystem services in Cerrado landscapes. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 21, n. 1 p. 41-51, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2530064423000019?via%3Dihub>. Acesso em: 11 mai. 2025.

BORTOLI, S.; PINTO, E. Cianotoxinas: características gerais, histórico, legislação e Métodos de análises. In: POMPÊO, M. et al. **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015. p. 321-339. Disponível em [http://ecologia.ib.usp.br/reservatorios/PDF/Livro\\_todo.pdf](http://ecologia.ib.usp.br/reservatorios/PDF/Livro_todo.pdf). Acesso em: 10 mai. 2025.

BRASIL. Portaria de Consolidação n. 5, de 28 de setembro de 2017. Dispõe sobre normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 out. 2017. Seção 1. Disponível em: [https://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria\\_Consolidacao\\_5\\_28\\_SETEMBRO\\_2017.pdf](https://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf). Acesso em: 06 mai. 2025.

BRASIL. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 7 maio de 2021a. Seção 1. Disponível em: [https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888\\_07\\_05\\_2021.html](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html). Acesso em: 06 mai. 2025.

BRASIL. Projeto de Lei 2159, de 18 de maio de 2021. Dispõe sobre o licenciamento ambiental; regulamenta o inciso IV do § 1º do art. 225 da Constituição Federal; altera as Leis nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e 9.985, de 18 de julho de 2000; revoga dispositivo da Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988; e dá outras providências. Brasília, DF, Senado Federal, 2021b. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=8970277&ts=1747924376877&disposition=inline>. Acesso em: 10 mai. 2025.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=450](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450). Acesso em: 10 mai. 2025.

BRONSTEIN, C. A. S. **Meta-análises de dados sobre cianobactérias e cianotoxinas nos reservatórios de abastecimento público na bacia do rio Sorocaba**. 2023. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/fe1698de-d66c-4a2b-8a54-666301967342>. Acesso em: 17 mai. 2025.

BRONSTEIN, C. A. S.; MOSCHINI-CARLOS, V. Analysis of data on cyanobacteria and cyanotoxins in public supply reservoirs (São Paulo, Brazil). **International Journal of Oceanography and Hydrobiology**, v. 53, n. 4, p. 410-423, 2024. Disponível em: <https://sciendo.com/article/10.26881/oahs-2024.4.08>. Acesso em: 17 mai. 2025.

CARDOSO-SILVA, S.; FERREIRA, T.; POMPÊO, M. Diretiva Quadro da Água: uma revisão crítica e a possibilidade de aplicação ao Brasil. **Ambiente e Sociedade**, v. 16, p. 39-58, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/Z6zMfSTx3mgzBDLYKZJMT8z/>. Acesso em: 25 mai. 2025.

CARDOSO-SILVA, S. et al. Metals in sediments: bioavailability and toxicity in a tropical reservoir used for public water supply. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, p. 310, 2016b. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-016-5276-5>. Acesso em: 25 mai. 2025.

CARDOSO-SILVA, S. et al. 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. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-015-4828-2>. Acesso em: 25 mai. 2025.

CASTELANO, C. Aplicação excessiva de algicidas prejudica meio ambiente. **AUN - Agência Universitária de Notícias**, 05 de maio de 2017. Disponível em: <http://aun.webhostusp.sti.usp.br/index.php/2017/05/05/aplicacao-excessiva-de-alcicidas-prejudica-meio-ambiente/>. Acesso em: 13 mai. 2025.

CHORUS, I.; WELKER, M. (eds.). **Toxic Cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management**. 2 ed. London: CRC Press/Taylor & Francis, 2021. 839 p. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/oa-edit/10.1201/9781003081449/toxic-cyanobacteria-water-ingrid-chorus-martin-welker>. Acesso em: 13 mai. 2025.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. CETESB. **Ficha de Informação Toxicológica: Cianotoxinas**. São Paulo: CETESB, 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2023/12/CIANOTOXINAS.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2025.

EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA S.A. EMAE. **Elevatórias**. São Paulo: EMAE, s.d. Disponível em: <https://www.emae.com.br/elevatorias/>. Acesso em: 08 mai. 2025.

EUROPEAN UNION. EC. **Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy**. Brussels: EU, 2000. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj>. Acesso em: 08 mai. 2025.

FASTNER, J.; HUMPAGE, A. Hepatotoxic cyclic peptides - microcystins and nodularins. In: CHORUS, I.; WELKER, M. (eds.). **Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and**

management. 2. ed. London: CRC Press/Taylor & Francis, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781003081449>. Acesso em: 13 mai. 2025.

FERREIRA, K. S. **Toxicidade de sedimentos superficiais de reservatórios paulistas: uma abordagem espacial com uso de *Danio rerio***. 2022. 118 p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/62a5ce40-ed51-4764-a2d3-60d4dd6fea30/content>. Acesso em: 14 mai. 2025.

FRANCO, A. A. et al. Revegetação de solos degradados. **Comunicado Técnico**, n. 9, out./dez., p. 1-9, 1992. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/623376/1/cot009.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2025.

FUNDACIÓN NUEVA CULTURA DEL AGUA. **Más claro, agua: una visita guiada a los principios de la Directiva Marco del Agua**. Ministério do Meio Ambiente, Espanha, 2008. 24 p.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. art.4, 2001. Disponível em: [https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm). Acesso em: 08 maio 2025.

HUISMAN, J. et al. Cyanobacterial blooms. **Nature Reviews. Microbiology**, v. 16, n. 8, p. 471-483, 2018. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29946124/>. Acesso em: 20 mai. 2025.

JORGE, J. **Tietê, o rio que a cidade perdeu**: São Paulo, 1890-1940. São Paulo: Alameda Editorial, 2006. 240 p.

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, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717317990>. Acesso em: 04 mai. 2025.

MANCUSO, C. S. Controle do desenvolvimento de algas em águas de abastecimento público. **Revista DAE**, v. 47, n. 149, p. 151-156, 1987. Disponível em: [https://www.revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_149\\_n\\_221.pdf](https://www.revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_149_n_221.pdf). Acesso em: 04 mai. 2025.

MARIANI, C. F.; POMPÊO, M. Potentially bioavailable metals in sediment from a tropical polymictic environment - Rio Grande Reservoir, Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 8, p. 284-288, 2008. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11368-008-0018-0>. Acesso em: 04 mai. 2025.

MENGO, L. et al. Deciphering the intricate link between watershed-level land use changes and reservoir eutrophication in central Argentina over the 20th-21st century. **Anthropocene**, v. 46, p. art. 100437, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213305424000146?via%3Dihub>. Acesso em: 20 mai. 2025.

MENGO, L. et al. Sedimentary record of the environmental evolution and changes in trophic state of San Roque reservoir (Córdoba, Argentina) during the 20th- 21st centuries. **Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis**, v. 29, n. 1, p. 3-21, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.org.ar/pdf/lajsba/v29n1/1851-4979-lajsba-29-01-3.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2025.

MOSCHINI-CARLOS, V. et al. Cyanobacteria and Cyanotoxin in the Billings Reservoir (São Paulo, SP, Brazil). **Limnetica**, v. 28, p. 273-282, 2009. Disponível em: <https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-28-2-p-273.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2025.

MOSCHINI-CARLOS, V. et al. High concentrations of cyanotoxins in reservoirs in the State of São Paulo (Brazil) may present a risk to public health. **Fundamental and Applied Limnology**, v. 197, n. 1, p. 217-233, 2024. Disponível em: [https://www.schweizerbart.de/papers/fal/detail/197/106031/High\\_concentrations\\_of\\_cyanotoxins\\_in\\_reservoirs\\_in\\_the\\_State\\_of\\_Sao\\_Paulo\\_Brazil\\_may\\_present\\_a\\_risk\\_to\\_public\\_health](https://www.schweizerbart.de/papers/fal/detail/197/106031/High_concentrations_of_cyanotoxins_in_reservoirs_in_the_State_of_Sao_Paulo_Brazil_may_present_a_risk_to_public_health). Acesso em: 20 mai. 2025.

OVERTURF, M. D. et al. Pharmaceuticals and personal care products: a critical review of the impacts on fish reproduction. **Critical Reviews in Toxicology**, v. 6, p. 469-491. 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/10408444.2015.1038499>. Acesso em: 19 mai. 2025.

POMPÊO, M. A avaliação da qualidade da água de reservatórios na limnologia brasileira: do clássico às novas abordagens. In: POMPÊO, M.; CARDOSO-SILVA, C.; FIGUEIRA, R. C. L.; MOSCHINI-CARLOS, V. (Orgs.) **Limnologia: do clássico às novas abordagens**, São Paulo: Instituto de

Biociências, 2024. 188 p. Disponível em [http://ecologia.ib.usp.br/portal/novas\\_abordagens/](http://ecologia.ib.usp.br/portal/novas_abordagens/). Acesso em: 06 mai. 2025.

POMPÊO, M. O controle da flora e fauna aquáticas pela Resolução CONAMA 467: considerações sobre a normativa brasileira. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 33, p. 24-35, 2017. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rdg/article/view/121065>. Acesso em: 10 mai. 2025.

POMPÊO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, p. 406-424, 2008. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/5734>. Acesso em: 10 mai. 2025.

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://ecologia.ib.usp.br/portal/macrofitas/>. Acesso em: 10 maio 2025.

POMPÊO, 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. (orgs.). **Meio ambiente e sustentabilidade**. Porto Alegre: Bookman Companhia, 2012.

POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V. (orgs.) **Reservatórios que abastecem São Paulo: problemas e perspectivas**. São Paulo: Instituto de Biociências da USP, 2020. 136 p. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/portal/publicacoes/>. Acesso em: 10 mai. 2025.

POMPÊO, M.; RANI-BORGES, B.; PAIVA, T. C. B. (orgs.) **Microplásticos e seus impactos ao meio ambiente**. São Paulo: Instituto de Biociências da USP, 2022. 216 p. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/portal/microplastico/>. Acesso em: 10 maio 2025.

POMPÊO, 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, p. 104-119, 2013. Disponível em: <https://www.geobrasiliensis.org.br/geobrasiliensis/article/view/364>. Acesso em: 10 mai. 2025.

POMPÊO, M. et al. Chlorophyll a, Secchi disk depth and Cyanobacteria cell number estimated for Sentinel 2 images and water quality assessment of the Ituparanga reservoir (São Paulo State, Brazil), In: POMPÊO, M. (orgs.) et

al. **Limnologia**: do clássico às novas abordagens. São Paulo: Instituto de Biociências da USP, 2024. 188 p. Disponível em: [http://ecologia.ib.usp.br/portal/novas\\_abordagens/](http://ecologia.ib.usp.br/portal/novas_abordagens/). Acesso em: 10 mai. 2025.

ROCHA, S. M. **Macroinvertebrados bentônicos como indicadores de poluição na Represa do Guarapiranga - SP**. 1999. 200 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Ambiental) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-15022007-145012/publico/mestradosolange1999.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2025.

SANTOS-MACHADO, L. et al. Fatores ambientais relacionados à ocorrência de cianobactérias potencialmente tóxicas no reservatório de Guarapiranga, SP, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 11, p. 810, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/ij/ambigua/a/8NRHhm3qZkdPPfbrKRqvQnx/>. Acesso em: 16 mai. 2025.

SANTOS-MACHADO, L. et al. Permanent occurrence of *Raphidiopsis raciborskii* and cyanotoxins in a subtropical reservoir polluted by domestic effluents (Itupararanga reservoir, São Paulo, Brazil). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, p. 18653-18664, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-16994-6>. Acesso em: 16 mai. 2025.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo: Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, 1976. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html>. Acesso em: 12 maio 2025.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976 e dá providências correlatas. São Paulo: Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, 1977. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1977/decreto-10755-22.11.1977.html>. Acesso em: 12 mai. 2025.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO. SISAGUA. Brasília: Ministério da Saúde. Disponível em: <http://sisagua.saude.gov.br/sisagua/paginaExterna.jsf>. Acesso em: 30 mai. 2025.

SOUZA, R. S. et al. Connections among land use, water quality, biodiversity of aquatic invertebrates, and fish behavior in Amazon Rivers. **Toxics**, v. 10, n. 4, p. art. 182, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2305-6304/10/4/182>. Acesso em: 22 mai. 2025.

SRAIN, H. S.; BEAZLEY, K. F.; WALKER, T. R. Pharmaceuticals and personal care products and their sublethal and lethal effects in aquatic organisms. **Environmental Reviews**, v. 2, p. 142-181. 2021. Disponível em: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/er-2020-0054>. Acesso em: 14 mai. 2025.

STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas**. São Carlos: International Lake Environmental Committee, 2000. 280 p. (Série Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos, 9).

TORREMORELL, A. et al. Present and future threats for the ecological quality management of South American freshwater ecosystems. **Inland Waters**, v. 11, n. 2, p. 125-140, 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/20442041.2019.1608115>. Acesso em: 09 mai. 2025.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ABE, D. S. The ecological dynamics of Barra Bonita (Tietê River, SP, Brazil) reservoir: implications for its biodiversity. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 4 suppl., p. 1079-1098, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjb/a/bTg3F7VVKLVFGLCWfdS4CMF/>. Acesso em: 07 mai. 2025.

TUNDISI, J. G. et al. The response of Carlos Botelho reservoir to the passage of cold fronts as reflected by physical, chemical, and biological variables. **Brazilian Journal of Biology**, v. 64, n. 1, p. 177-186, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjb/a/KNFKYNGwXzPNsJrDBQcwpLh/?lang=en>. Acesso em: 07 mai. 2025.

URBANSKI, B.; NOGUEIRA, M. Excessive eutrophication as a chemical barrier for fish fauna dispersion: a case study in the emblematic Tietê river (São Paulo, Brazil). **Water**, v. 16, p. 1383, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/16/10/1383>. Acesso em: 18 mai. 2025.

VAN APELDOORN, M. E. et al. Toxins of cyanobacteria. **Molecular Nutrition and Food Research**, v. 51, n. 1, p. 7-60, 2007. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mnfr.200600185>. Acesso em: 18 mai. 2025.

WINDER, M.; SOMMER, U. Phytoplankton response to a changing climate. **Hydrobiologia**, v. 698, p. 5-16, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-012-1149-2>. Acesso em: 18 mai. 2025.

WOOD, R. Acute animal and human poisonings from cyanotoxin exposure - a review of the literature. **Environment International**, v. 91, p. 276-282, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412016300642>. Acesso em: 01 jun. 2025.



Barragem de Barra Bonita (Igarapé do Tietê, SP), em 23 de outubro de 2021. Fonte: Marcelo Pompêo.

**O crônico problema da qualidade das águas brutas em São Paulo: críticas e sugestões**

Marcelo Pompêo, Sheila Cardoso-Silva, Viviane Moschini-Carlos

USP, UNESP e UNIFAL

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