



RELATÓRIO DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS INTERIORES DO ESTADO DE SÃO PAULO



Governo do Estado de São Paulo
Tarcísio de Freitas - Governador do Estado de São Paulo

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística
Natália Resende - Secretária de Estado

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Thomaz Miazaki de Toledo - Diretor-Presidente

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Diretoria de Gestão Corporativa
Liv Nakashima Costa - Diretora

Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental
Adriano Rafael Arrepia de Queiroz - Diretor

Diretoria de Qualidade Ambiental
Maria Helena R. B. Martins - Diretora

Diretoria de Avaliação de Impacto Ambiental
Mayla Matsuzaki Fukushima - Diretora



METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS INTERIORES NO ESTADO DE SÃO PAULO

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA
CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

São Paulo
2025

FICHA TÉCNICA

Diretoria de Qualidade Ambiental

Quím. Maria Helena R. B. Martins
Diretora

Coordenação geral

Biól. Fábio Netto Moreno
Gerente do Departamento de Qualidade Ambiental

Coordenação técnica

Farm. Bioq. Lilian Barreira Peres
Gerente da Divisão de Qualidade das Águas e do Solo
Biól. Marta Condé Lamparelli
Gerente da Divisão de Análises Hidrobiológicas
Quím. Beatriz Durazzo Ruiz
Gerente do Setor de Águas Interiores

Coordenação cartográfica

Geóg. Carmen Lucia V. Midaglia

Equipe Técnica

Setor de Águas Interiores

Biól. Cláudio Roberto Palombo
Eng. Quím. Uladyr Ormindo Nayme
Eng. Quím. Diego Armando Santos Alves
Téc. Amb. Ana Paula Pereira de Mello
Cristian de Oliveira (estagiário química)
Stefanny Ribeiro da Silva (estagiária biologia)
Kethellyn Souza Lopes da Silva (aprendiz)

Setor de Hidrologia

Eng. Luís Altivo Carvalho Alvim
Quím. Vinícius Marques da Silva

Departamento de Análises Ambientais

Biom. Maria Inês Zanoli Sato

Divisão de Análises Físico-químicas

Maria Yumiko Tominaga

Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental

Biól. Deborah Arnsdorff Roubicek

Setor de Comunidades Aquáticas

Biól. Maria do Carmo Carvalho
Biól. Adriana C. C. Ribeiro de Deus
Biól. Ana Maria Brockelmann
Biól. Denise Amazonas Pires
Biól. Hélio Rubens Victorino Imbimbo
Biól. Luciana Haipek Mosolino Lerche
Biól. Mônica Luisa Kuhlmann
Farm. Bioq. Rosalina Pereira de Almeida Araújo
Biól. Juliana Lopes Vendrami

Coletas de Amostras e/ou Análises

Divisão de Amostragem
Setor de Química Inorgânica
Setor de Química Orgânica
Divisão de Microbiologia e Parasitologia
Setor de Comunidades Aquáticas
Setor de Ecotoxicologia Aquática
Setor de Metrologia e Calibração
Setor de Análises Toxicológicas

Apoio

Agências Ambientais da Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental
Setor de Biblioteca

Contribuições

CIIAGRO – Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas
COMDEC – Coordenadoria Municipal de Defesa Civil da Prefeitura de São Paulo
SP AGUAS – Agência de Águas do Estado de São Paulo
EMAE – Empresa Metropolitana de Água e Energia
FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

Setor de Ecotoxicologia Aquática

Biól. William Viveiros
Biól. Lucy Lina Ogura
Biól. Sandra Valéria Buratini

Setor de Análises Toxicológicas

Farm. Bioq. Daniela Dayrell França
Téc. Amb. Wallace Anderson A. Soares
Biól. Andréia Suemi Uehara
Quím. Lucas Rodrigues da Silva

Setor de Toxicologia e Genotoxicidade

Biól. Flavia Mazzini Bertoni
Biom. Celia Maria Rech
Biól. Celso Fumio Suzuki
Biól. Cynthia Muniz Soares
Farm. Bioq. Simone Harue Kimura Takeda

Divisão de Microbiologia e Parasitologia

Biól. Mikaela Renata Funada Barbosa
Farm. Bioq. Solange Rodrigues Ramos
Farm. Bioq. Ana Tereza Galvani

Setor de Química Inorgânica

Quím. Sharlley Alves Silva

Setor de Química Orgânica

Quím. Neusa Akemi Niwa

Apoio

Quím. Robson Leocádio Franklin

Setor de Toxicologia e Genotoxicidade

Divisão de Laboratório Campinas
Divisão de Laboratório Sorocaba
Divisão de Laboratório Cubatão
Divisão de Laboratório Taubaté
Divisão de Laboratório Ribeirão Preto
Divisão de Laboratório Marília
Divisão de Laboratório Limeira

Editoração/Diagramação

Lucas Lima / Tikinet

Impressão

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Distribuição

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 – Alto de Pinheiros
Tel. 3133-3000 – CEP 05459-900 – São Paulo – SP
Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS INTERIORES

(Rede Básica, Monitoramento Automático, Praias Interiores e Rede de Sedimento)

1. Introdução

Desde 1974, a CETESB realiza o monitoramento das águas superficiais interiores no estado de São Paulo, visando diagnosticar sua qualidade, acompanhar a evolução temporal, identificar áreas críticas e subsidiar ações de gestão hídrica e saneamento. Ao longo dos anos, as redes de monitoramento são aperfeiçoadas visando atender às demandas do crescimento populacional, diversificação industrial, controle da poluição e diagnóstico de mananciais, alinhando avanços científicos às necessidades dos projetos do Governo do Estado de São Paulo e as demandas das Agências Ambientais, Prefeituras Municipais e Comitês das Bacias Hidrográficas.

As redes de monitoramento manual desempenham um papel essencial ao permitir o cálculo de índices que sintetizam informações complexas em indicadores únicos, facilitando comparações em diferentes cenários e escalas espaciais e temporais, e tornando os resultados mais acessíveis e intuitivos para diversos públicos, oferecendo suporte estratégico e eficiente ao processo de tomada de decisão.

Em 1978, o primeiro Relatório de Qualidade das Águas Interiores da CETESB foi publicado, com foco em publicizar de forma acessível as condições das águas no Estado de São Paulo, cumprindo dessa forma sua missão. A Figura 1 traz a apresentação do Relatório.

Além do monitoramento regular da qualidade da água superficial realizado, os pontos e variáveis amostrados são periodicamente ajustados visando o diagnóstico e controle ambiental de eventos excepcionais, bem como o acompanhamento de projetos de interesse socioambiental.

Figura 1 – Apresentação do 1º Relatório de Qualidade das Águas Interiores (RAI-1978)

Este relatório, além de apresentar o panorama global de qualidade das águas no território paulista durante o ano de 1978, consolida e sintetiza os dados até agora levantados através da rede básica de monitoramento da qualidade das águas.

A condensação dos resultados ora apresentados foi possível, em grande parte, graças ao emprego do IQA (Índice de Qualidade de Água) que significa a síntese de diversos parâmetros de qualidade de água, representados por uma nota de 0 a 100.

Assim, tanto o leigo quanto o técnico poderão enxergar com mais clareza alguns ângulos do problema de poluição das águas, que tem sido, nesta década, sério motivo de preocupação do povo deste Estado.

A CETESB cumpre, desta forma, com uma de suas metas, qual seja, a de mostrar a realidade dos fatos.

Engº LUIZ AUGUSTO DE LIMA PONTES

Diretor

Desde 1998, a CETESB opera Estações Automáticas de monitoramento da qualidade da água, focada nas regiões mais industrializadas e urbanizadas no Estado, bem como nos principais mananciais para abastecimento público

2. Arcabouço legal para monitoramento

Em 1976, a [Lei Estadual nº 997/1976](#) instituiu o Sistema de Prevenção e Controle da Poluição do Meio Ambiente, delegando à CETESB o papel de fiscalizar e controlar o lançamento de efluentes em cursos de água e licenciar as fontes geradoras de poluição. De forma a auxiliar o recém-criado órgão ambiental nessas ações, em nível regional, foi criada a rede de monitoramento de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo.

A Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei nº 7.663/1991) e a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) baseiam-se nos fundamentos de que a água é um bem de domínio público, sendo um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, onde a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação desta política e sua gestão deve ser integrada. Juntamente com as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (357/2005 e 396/2008) e do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH (15/2001; 22/2002; 91/2008, 92/2008; 107/2010) ficaram estabelecidas as diretrizes para a classificação e o

enquadramento dos corpos hídricos, reforçando assim a importância de manutenção de redes de monitoramento de qualidade e quantidade.

A CETESB, que faz parte do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH), tem a atribuição legal de executar o monitoramento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do Estado de São Paulo, conforme estabelecido pela Lei nº 118/1973 e suas alterações, com destaque para a [Lei nº 13.542 de 2009](#).

3. Objetivos e Concepção do monitoramento

A partir das necessidades particulares de cada tipo de recurso hídrico disponível e dos órgãos envolvidos na gestão dos corpos de água e suas respectivas bacias, foram definidos objetivos específicos que norteiam os programas de monitoramento das águas superficiais e dos sedimentos em corpos hídricos, sendo eles:

- Fazer um diagnóstico da qualidade das águas superficiais e dos sedimentos em ambientes hídricos do Estado, avaliando sua conformidade com a legislação ambiental;
- Avaliar a evolução temporal da qualidade das águas superficiais e sedimentos do Estado, com vistas à gestão dos recursos hídricos;
- Identificar trechos de rios e reservatórios prioritários para o controle da poluição das águas e dos sedimentos, possibilitando, assim, ações preventivas e corretivas da CETESB e de outros órgãos;
- Subsidiar o diagnóstico e controle da qualidade das águas superficiais utilizadas para o abastecimento público, verificando se suas características são compatíveis com o tratamento existente, bem como para os seus usos múltiplos;
- Subsidiar a execução dos Planos de Bacia e Relatórios de Situação dos Recursos Hídricos, bem como a cobrança do uso da água e estudos de reenquadramento dos corpos hídricos em classes, segundo seus usos preponderantes; e
- Subsidiar a implementação da Política Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007), atualizada pelo marco do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020).

A partir desses objetivos, foi construído o delineamento dos programas de monitoramento regional das águas superficiais e de sedimentos, levando-se em conta os aspectos tecnológicos e de recursos humanos disponíveis na CETESB.

A evolução de tecnologias e metodologias de análises físico-químicas, biológicas ou toxicológicas, de infraestrutura do órgão ambiental, a identificação de áreas poluídas ou o surgimento de novas substâncias potencialmente poluidoras ao meio ambiente são fatores que influenciam esse processo.

As variáveis de qualidade das águas e do sedimento podem ser integradas na avaliação dos ambientes aquáticos e, dependendo dos usos da água pretendidos, adotam-se variáveis e índices específicos para indicar a sua qualidade.

A partir da concepção da rede de monitoramento, o passo seguinte consiste na sua operacionalização, o que deve levar em consideração os aspectos dinâmicos já citados. Na Figura 2 são apresentadas as etapas fundamentais para a operação das redes de monitoramento de qualidade das águas superficiais implantadas pela CETESB.

Figura 2 - Etapas do programa de monitoramento



4. REDES DE MONITORAMENTO

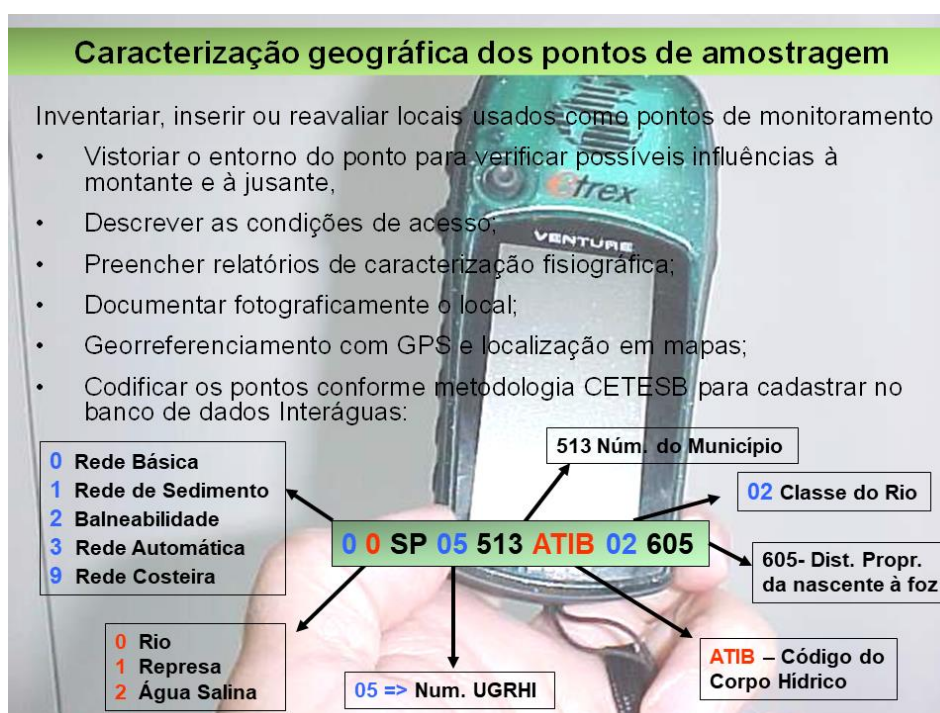
Para o atendimento dos objetivos estabelecidos, o monitoramento da qualidade das águas superficiais interiores no estado de São Paulo desdobra-se em 4 (quatro) redes.

A seguir, são apresentadas as características específicas das redes de monitoramento: pontos de amostragem, frequência e variáveis de qualidade tanto de água superficial quanto do sedimento.

4.1. Caracterização dos pontos de amostragem

Os pontos de amostragem, antes de integrar as redes de monitoramento, são vistoriados e caracterizados geograficamente com a finalidade de 1) compilar os dados essenciais ao processo de codificação, 2) identificar possíveis contribuições do uso do solo no entorno do ponto e 3) auxiliar na escolha do conjunto de análises a serem executadas. Na Figura 3, apresenta-se um exemplo da codificação utilizada pela CETESB.

Figura 3 - Processo de codificação e georreferenciamento dos pontos de amostragem.



A caracterização geográfica dos pontos de amostragem é realizada por meio de visitas em campo, com uso de aparelho de georreferenciamento - GPS, auxiliadas se possível por localização prévia de acesso através das plataformas *Google Earth* e/ou *Google Maps* e por consultas a mapas. Após a visita, esses pontos são registrados nas cartas do IBGE que recobrem o Estado de São Paulo em escala 1: 50.000, possibilitando a conferência da localização digital. Além disto, é feita a documentação

fotográfica dos trechos do entorno. A Figura 4 apresenta um exemplo da localização de pontos:

Figura 4 – Localização do ponto DIRU 04950, Córrego Carandiru ou Carajás, para cadastro no Banco InterÁguas.



O gerenciamento das informações dos pontos de amostragem de águas interiores e das variáveis de qualidade das redes manuais é realizado por meio do Sistema InterÁguas, que é um banco de dados relacional, desenvolvido pela CETESB.

4.2. REDE BÁSICA

A Rede Básica tem por objetivo fornecer uma visão genérica do nível de qualidade atual das águas interiores no estado de São Paulo, através do acompanhamento sistemático dessa qualidade nos pontos selecionados e de observar sua evolução ao longo dos anos.

Esta rede foi projetada em 1974, com 47 pontos de amostragem, e sofreu sucessivas alterações, principalmente quanto ao número de pontos e variáveis monitoradas. Nos últimos anos (década de 2020), consta com mais de 500 pontos de amostragem distribuídos em todas as 22 UGRHs do estado de São Paulo.

4.2.1. Rede Cetesb e Rede Federal da ANA

Em 2013, a CETESB integrou os primeiros pontos provenientes do acordo de Cooperação Técnica firmado, em 2010, com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), dentro do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA), programa este que visa ampliar o conhecimento sobre a qualidade das águas superficiais em todo o Brasil. A ANA apresentou uma proposta inicial de rede federal com cerca de 275 pontos (de impacto, estratégicos ou de referência) para o Estado de São Paulo, muitos deles em rios limítrofes com os estados de Paraná, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. Após uma série de reuniões realizadas em conjunto com o Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos (CTH) e o Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE), atual SP Águas, optou-se pela exclusão de cerca de 50 pontos propostos inicialmente e integração de muitos pontos em locais já monitorados pela CETESB.

Em 5 de setembro de 2016, o contrato nº 034/2016/ANA foi assinado e publicado no Diário Oficial da União (DOU). Ele definiu o Plano de Metas do Contrato no qual a rede federal no Estado de São Paulo deveria atingir 249 pontos até 2020, inseridos progressivamente ao longo dos 5 anos de vigências do contrato. Além disto, foram estabelecidas metas semestrais de integração progressiva de pontos de quantidade e qualidade no programa de monitoramento da CETESB. Assim dos 249 pontos exigidos, 124 teriam que integrar dados de qualidade com dados de medição de vazão simultânea, gerando informação quali-quantitativa com frequência de 4 vezes por ano. Como no ano de 2022, já havia sido atingido o número de pontos necessários, a CETESB encerrou a inserção de novos pontos para esta interação. Porém, continua-se executando mudanças pontuais identificadas em processo de visita, caracterização geográfica, codificação e cadastramento de novos locais no Banco Interáguas.

4.2.2. Metodologia de Amostragem

A amostragem da água é realizada conforme recomendações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos (ANA; CETESB, 2023), atualmente em sua 2ª edição. Este documento representa a consolidação de um processo técnico-institucional iniciado na CETESB em 1977, com a publicação do primeiro Guia Técnico de Coleta de

Amostras de Água, posteriormente ampliado pelo Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água (1988). Desde então, as práticas de coleta passaram por aprimoramentos contínuos, baseados na experiência acumulada em campo, em procedimentos internos da Companhia e na harmonização com metodologias padronizadas nacionais e internacionais.

A Figura 5 ilustra exemplos do momento de amostragem em água superficial

Figura 5 – Exemplo de amostragem em água superficial



As medições de vazão nos corpos de água são realizadas pela CETESB e pela Agência de Águas do Estado de São Paulo – SP Águas (antigo Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE) Os resultados são obtidos pela medição direta da vazão nos corpos de água, tal como mostrado na Figura 6 ou pela leitura de régua (

Figura 7), simultaneamente à amostragem da água ou por meio de medidores de nível. No caso das medições feitas por meio das réguas ou medidores de nível, para se determinar a vazão, são utilizadas curvas-chave, as quais devem ser ajustadas periodicamente.

Figura 6 – Exemplo de Medição de vazão a vau realizada pela CETESB na Ponte na entrada da portaria 2 do Parque Estadual do Juquery, em Franco da Rocha



Foto: R. Rossetti (2023)

Figura 7 – Exemplo de régua para leitura no Rio Tietê, em Biritiba Mirim (TIET 02050)



4.2.3. Frequência de Monitoramento

A frequência de monitoramento da Rede Básica de água superficial ocorre de forma **trimestral**, com cada ponto sendo coletado quatro vezes durante o ano, duas amostragens ocorrendo no período de maior incidência pluvial (outubro a março) e outras duas amostragens em período de estiagem (abril a setembro).

4.2.4. Variáveis da Rede Básica

A quantidade e as diferentes formas de poluentes que podem estar presentes nas águas superficiais tornam inexecutável a análise sistemática de todas as substâncias. Por esse motivo, a CETESB realiza a determinação de cerca de 60 variáveis de qualidade da água consideradas mais representativas (Tabela 1).

Em função da necessidade de estudos específicos de qualidade de água em determinados trechos de rios ou reservatórios, com vistas a diagnósticos mais detalhados, outras variáveis podem ser determinadas, tanto em função do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica contribuinte, da tipologia industrial, quanto pela ocorrência de algum evento excepcional.

Tabela 1 – Variáveis de qualidade da Rede Básica

Rede de Monitoramento	Grupo	Principais Variáveis*	Variáveis Adicionais**
Rede Básica	Físicos	Condutividade, Sólido Dissolvido Total, Sólido Total, Temperatura da Água, Turbidez	Cor Verdadeira, Salinidade, Sólidos Suspensos, Transparência
	Químicos	Alumínio Dissolvido, Alumínio Total, Bário Total, Cádmio Total, Cálcio Total, Carbono Orgânico Total, Chumbo Total, Cloreto Total, Cobre Dissolvido, Cobre Total, Crômio Total, Dureza, Ferro Dissolvido, Ferro Total, Fluoreto Total, Fósforo Total, Fósforo-Ortofosfato, Magnésio Total, Manganês Total, Mercúrio Total, Níquel Total, Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Kjeldahl, Nitrogênio-Nitrato, Nitrogênio-Nitrito, Oxigênio Dissolvido, pH, Potássio, Sódio, Substâncias Tensoativas reagem com Azul Metileno (Surfactantes), Sulfato Total, Zinco Total	Alcalinidade Total, Antimônio, Arsênio Total, Boro Total, Carbono Orgânico Dissolvido, Cianotoxinas (Cilindrospermopsina, Microcistinas, Saxitoxina), DBO _(5,20) , DQO, Potencial de Formação de THM, Selênio Total, Sulfeto Total Compostos Orgânicos - Agrotóxicos (herbicidas, inseticidas, fungicidas e raticidas, organofosforados), Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (Semi-COVs), Dioxinas e Furanos, Fenóis Totais, Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs), Óleos e Graxas, Substâncias Perfluoroalquiladas e Polifluoroalquiladas (PFAS)
	Hidrobiológicos	Clorofila <i>a</i> e Feofitina <i>a</i>	Comunidades Fitoplancônica e Zooplancônica
	Microbiológicos	<i>Escherichia coli</i>	<i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp, SARS-CoV-2, Vírus Entéricos (Adenovírus, Enterovírus, Rotavírus)
	Ecotoxicológicos	Ensaio ecotoxicológico com o microcrustáceo <i>Ceriodaphnia dubia</i>	Ensaio de Toxicidade Aguda com a bactéria luminescente <i>Vibrio fischeri</i> (Sistema Microtox®)
	Testes de Mutagenicidade		Teste de Salmonella/microsoma (Teste de Ames) e Ensaio do Micronúcleo <i>in vitro</i>
	Bioanalíticos		Atividade Estrogênica por BLYES, GR-Calux

*Principais variáveis - monitoradas em mais de 60% dos pontos; ** Variáveis adicionais - monitorados em menos de 60% dos pontos

Complementarmente, a Tabela 2 apresenta a relação de compostos monitorados para cada grupo de compostos orgânicos. Os agrotóxicos são descritos em item específico (Item 4.2.4.1.1 - Agrotóxicos).

Tabela 2 Grupos de compostos orgânicos e seus compostos monitorados

Grupo de Compostos Orgânicos	Compostos Monitorados
Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)	BTEX (Benzeno, Tolueno, Estireno, Etilbenzeno, m,p-Xileno, o-Xileno) ; 1,1,1 - Tricloroetano; 1,1,1,2 - Tetracloroetano; 1,1,2 - Tricloroetano; 1,1,2,2 - Tetracloroetano; 1,1-Dicloro-1-Propeno; 1,1-Dicloroetano; 1,1-Dicloroeteno; 1,2-Dicloroetano; 1,2,3-Triclorobenzeno; 1,2,3-Tricloropropano; 1,2,4-Triclorobenzeno; 1,2,4-Trimetilbenzeno; 1,2-Dibromoetano; 1,2-Diclorobenzeno; 1,2-Dicloropropano; 1,3,5 Triclorobenzeno; 1,3,5-Trimetilbenzeno; 1,3-Diclorobenzeno; 1,3-Dicloropropano; 1,4-Diclorobenzeno; 2,2-Dicloropropano; 2-Clorotolueno; 4-Clorotolueno; Bromobenzeno; Bromoclorometano; Bromodiclorometano; Bromofórmio; cis-1,2-Dicloroeteno; Cloreto de Metileno; Cloreto de vinila; Clorobenzeno; Cloroetano; Clorofórmio; Dibromoclorometano; Dibromometano; Hexaclorobutadieno; Isopropilbenzeno; n-Butilbenzeno; n-Propilbenzeno; o-Cresol; p-Cresol; p-Isopropiltolueno; sec-Butilbenzeno; terc-Butilbenzeno; Tetracloroeto de Carbono; Tetracloroeteno; trans-1,2-Dicloroeteno; Tricloroetano; Triclorofluormetano
Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (Semi-COV's)	1,2,4-Triclorobenzeno; 1,2-Diclorobenzeno; 1,3-Diclorobenzeno; 1,4-Diclorobenzeno; 1-Propanamina, N-Nitroso; 2,4,6-Triclorofenol; 2,4-Diclorofenol; 2,4-Dimetilfenol; 2,4-Dinitrotolueno; 2,6-Dinitrotolueno; 2-Clorofenol; 2-Cloronaftaleno; 2-Nitrofenol; 4-Bromofenil Fenil Éter; 4-Cloro-3-metil Fenol; 4-Clorofenil Fenil Éter; Acenafteno; Azobenzeno; Benzilbutil Ftalato; Bis(2-cloroetil) Éter; Bis(2-cloroetoxi) Metano; Bis(2-cloroisopropil) Éter; Bis(2-etilexil) Ftalato; Cafeína; Carbazole; Dibutil Ftalato; Dietil Ftalato; Dimetil Ftalato; Di-n-octil Ftalato; Fenol; Hexaclorobenzeno; Hexaclorobutadieno; Hexaclorociclopentadieno; Hexacloroetano; Isoforone; Nitrobenzeno; Pentaclorofenol; 2,3,4,5-Tetraclorofenol; 2,3,4,6-Tetraclorofenol; 2,4,5-Triclorofenol
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HPAs)	1-Metil-Naftaleno; 2-Metil-Naftaleno; Acenafteno; Acenaftileno; Antraceno; Benzo(a)antraceno; Benzo(a)pireno; Benzo(b)fluoranteno; Benzo(g,h,i)perileno; Benzo(k)fluoranteno; Criseno; Dibenzo(a,h)antraceno; Fenantreno; Fluoranteno; Fluoreno; Indeno(1,2,3-cd)pireno; Naftaleno; Pireno
Substâncias Perfluoroalquiladas e Polifluoroalquiladas (PFAS)	4:2 FTS - Ácido perfluorohexano sulfônico; 6:2 FTS - Ácido perfluorooctano sulfônico; 8:2 FTS - Ácido perfluorodecano sulfônico; br-NEtFOSAA - Ácido N-etil perfluorooctano sulfonamido acético; br-NMeFOSAA - Ácido N-metil perfluorooctano sulfonamido acético; br-PFHxS - Ácido perfluorohexano sulfônico; br-PFOS - Ácido perfluorooctano sulfônico; L-NEtFOSAA - Ácido N-etil perfluorooctano sulfonamido acético; L-NMeFOSAA - Ácido N-metil perfluorooctano sulfonamido acético; L-PFBS - Ácido perfluorobutano sulfônico; L-PFDoS - Ácido perfluorododecano sulfônico; L-PFDS - Ácido perfluorodecano sulfônico; L-PFHpS - Ácido perfluoroheptano sulfônico; L-PFHxS - Ác. perfluorohexano sulfônico ; L-PFNS - Ácido perfluorononano sulfônico; L-PFOS - Ácido perfluorooctano sulfônico; L-PFPeS - Ácido perfluoropentano sulfônico; NEtFOSA - N-etil perfluorooctano sulfona; NEtFOSE - N-etil perfluorooctano sulfona; NMeFOSA - N-metil perfluorooctano sulfonamido acético; NMeFOSE - N-metil perfluorooctano sulfonamidoetanol; PFBA - Ácido perfluorobutanóico ; PFDA - Ácido perfluorodecanóico; PFDoA - Ácido perfluorododecanóico; PFHpA - Ácido perfluoroheptanóico; PFHxA - Ácido perfluorohexanóico ; PFNA -

	Ácido perfluorononanoico; PFOA - Ácido perfluorooctanoico ; PFOSA – Perfluorooctano sulfonamida; PFPeA - Ácido perfluoropentanoico; PFTeDA - Ácido perfluorotetradecanoico; PFTrDA - Ácido perfluorotridecanoico; PFUnA - Ácido perfluoroundecanoico
--	--

O significado ambiental e sanitário das variáveis monitoradas e as respectivas metodologias analíticas encontram-se descritas nos Apêndices A e B, respectivamente.

A seguir são descritos os objetivos do monitoramento de algumas das principais variáveis específicas.

4.2.4.1. Variáveis Químicas

4.2.4.1.1. Agrotóxicos

A CETESB monitora a presença de agrotóxicos nas águas superficiais na sua Rede Básica desde 2011. A partir de 2017, o monitoramento de agrotóxicos em água superficiais teve o seu desenho alterado, de forma a incorporar as bases metodológicas e analíticas adotadas no Projeto 2011-CORHI-123 (Contrato FEHIDRO nº 54/2012), desenvolvido pela CETESB em colaboração com a EMBRAPA-Meio Ambiente (Unidade de Jaguariúna), entre setembro de 2015 e agosto de 2016.

A Tabela 3 apresenta os ingredientes ativos de agrotóxicos monitorados pela CETESB, agrupados por categoria conforme sua função ou composição.

Tabela 3 - Agrotóxicos monitorados

Grupo	Ingredientes ativos
Herbicidas	2,4,5 T, 2,4,5-TP, 2,4-D, Ametrina, Atrazina, Bentazona, Diuron, Fluazifope-P-Butil, MCPA, Molinato, Pendimetalina, Propanil, Simazina, Tebutiuron
Inseticidas	Carbaril, Carbossulfano, Carbofurano, Fipronil, Imidacloprido, Dimetoato, Metomil, Tiametoxan, Tiodicarb, Triclorfon
Fungicidas	Azoxistrobin, Carbendazim, Ciproconazole, Tebuconazol,
Raticidas	Aldicarbe, Aldicarbe Sulfona, Aldicarbe Sulfóxido
Organofosforados/Nitrogenados e similares	Clorpirifos, Clorpirifos-Oxon, Demeton-O- Methyl, Demeton-S-Methyl, Etil Paration, Gution, Malation, Paration Metílico, Profenofós, Terbufós
Organoclorados	Alacloro, Aldrin, Beta-BHC, Delta-BHC, Alfa-Hexaclorociclohexano, Beta- Hexaclorociclohexano, Delta-Hexaclorociclohexano, Cis-Clordano, Cis-Permetrina, Dieldrin, Endossulfan Sulfato, Endossulfan I, Endossulfan II, Endrin, Endrin Aldeído, Endrin Cetona, gama BHC Lindano,

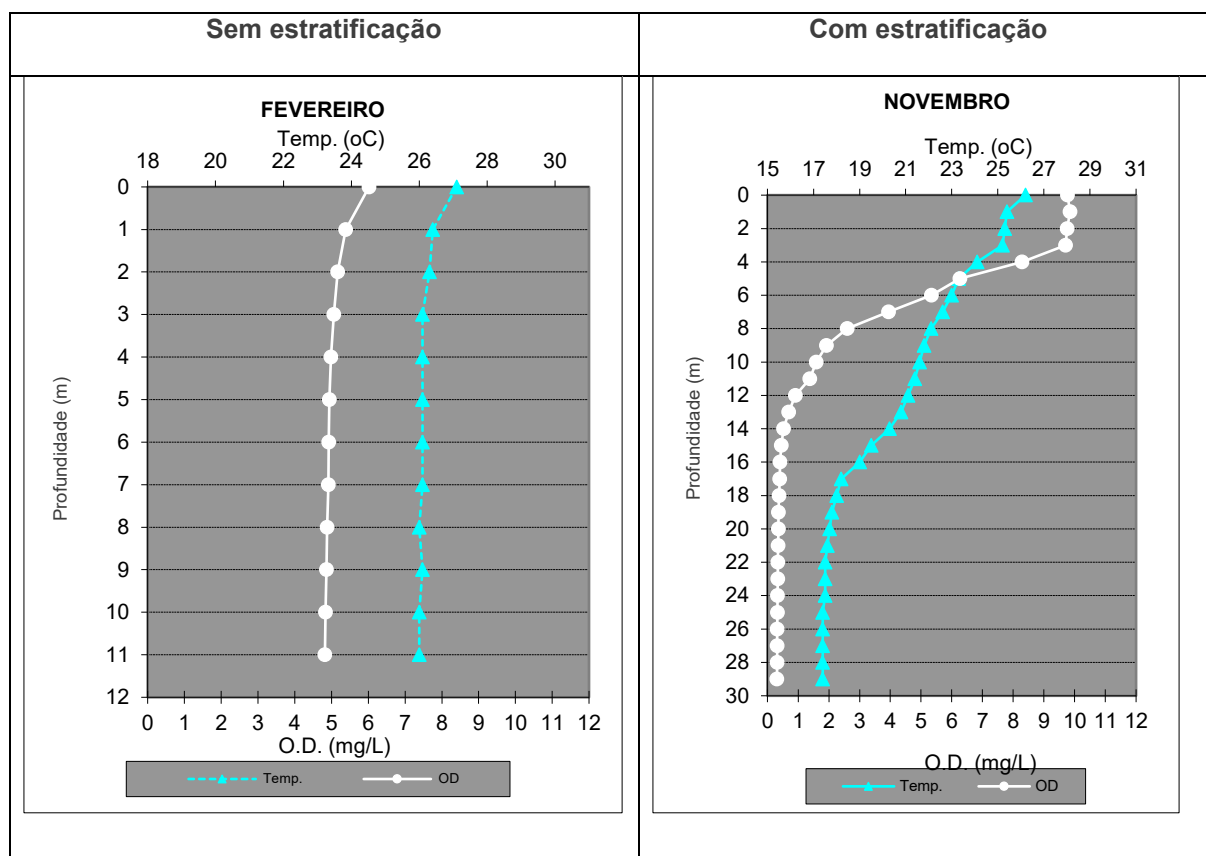
	Lindano, Heptacloro, Heptacloro Epóxido, Metoxicloro, Mirex, Pentaclorobenzeno, pp'DDT, pp'DDE, pp'DDD, Trans-Clordano, Trans-Permetrina, Toxafeno 26, Toxafeno 50, Toxafeno 62, Trifluralina
--	---

4.2.4.1.2. Perfis de Oxigênio Dissolvido e Temperatura

A determinação dos perfis de Temperatura e Oxigênio Dissolvido ao longo da coluna d'água de corpos hídricos **lênticos** é desejável onde se constata a ocorrência da **estratificação térmica**, principalmente no verão. Neste período, a camada superficial do reservatório apresenta temperatura mais elevada, acarretando menor densidade da água (epilímnio), enquanto que a camada mais profunda apresenta temperatura mais baixa e com maior densidade (hipolímnio).

Desta forma, cria-se uma estabilidade na massa líquida que será desestruturada por forças externas, como o vento, entrada de afluentes, sazonalidade. Essa estabilidade pode levar a uma alteração na qualidade ao longo da coluna da água, principalmente na camada mais profunda, como a redução da concentração de Oxigênio Dissolvido devido a processos de decomposição.

Figura 8 – Exemplo de Perfis de OD e Temperatura sem e com estratificação térmica



4.2.4.2. Variáveis Microbiológicas

As variáveis microbiológicas avaliadas são indicadoras da contaminação do corpo hídrico por material fecal, de origem humana ou animal, que podem estar associadas a uma série de enfermidades veiculadas pela água, destacando-se as gastroenterites. Nestes ensaios, investiga-se a presença e a quantidade de microrganismos no ambiente aquático, cujos limites estão regulamentados, a depender do uso da água.

Os ensaios de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. foram inseridos na Rede de Monitoramento em 2014, como parâmetro adicional para avaliar a qualidade de mananciais, considerando que a partir de dezembro de 2013, segundo a Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, vigente na ocasião, as análises desses protozoários passaram a ser obrigatórias em mananciais superficiais com médias geométricas anuais superiores ou iguais a 1.000 *E. coli*/100 mL. A Portaria nº 2914/2011 foi substituída em 2017 pelo anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017/GM/MS. Em 2021, a regulamentação foi alterada pela Portaria nº 888/2021/GM/MS, que estabeleceu que essas análises devem ser realizadas por

sistemas de abastecimento de água que realizam pré-oxidação no tratamento, em mananciais com média geométrica móvel maior ou igual a 1.000 *E. coli*/100mL. Em sistemas que não realizam pré-oxidação, essas análises devem ser realizadas quando os sistemas não comprovarem uma eficiência de remoção mínima de 2,5 log (99,7%) com base no monitoramento semanal de esporos de bactérias aeróbias na água bruta na entrada da ETA e na água filtrada.

Os locais de coleta são selecionados em conjunto com o Centro de Vigilância Sanitária da Secretaria de Estado de Saúde do Estado de São Paulo (CVS/SES-SP), priorizando as captações com maiores médias desses protozoários nos anos anteriores ou pontos nunca avaliados no monitoramento de *Giardia* e *Cryptosporidium*.

Apesar da Portaria nº 888/2021/GM/MS requerer a análise de *Giardia* spp., a mesma não fixa nenhum limite para esse protozoário. No entanto, para garantir a qualidade da água de consumo humano, de acordo com os critérios internacionais (USEPA, 2006, Health Canada, 2019; SI, 2018; EU, 2020), embasados em uma abordagem de avaliação de risco, os sistemas produtores de água tratada devem garantir no processo de tratamento uma remoção mínima de 3 logs e/ou inativação dos cistos de *Giardia* spp., sendo que a meta é a ausência desse protozoário na água tratada.

Muitos mananciais, dependendo do seu nível de contaminação, irão requerer uma redução maior do que 3 logs para manter um nível de risco ou carga de doenças tolerável para a população que consome a água procedente desses corpos de água. O risco tolerável de infecção anual estabelecido pela USEPA para água de consumo humano e adotado internacionalmente é de 10^{-4} (1 caso de infecção para 10.000 pessoas). A Organização Mundial da Saúde (OMS) dentro do Plano de Segurança da Água estabelece como meta de carga dessas doenças diarreicas 10^{-6} DALY/pessoa/ano (*Disability Adjusted Life Years* - anos de vida perdidos por morte prematura ou incapacidade ajustados a expectativa de vida ideal), valor equivalente a um risco de infecção anual de $6,7 \times 10^{-4}$ (WHO, 2017; Health Canada, 2019). Considerando os critérios recomendados pelo Canadá que usa a abordagem de DALYs, valores acima de 0,21 cistos/L de *Giardia* spp. na água bruta captada, tratada em sistemas que garantam 3 logs de redução, representariam riscos maiores que 10^{-6} DALY/pessoa/ano (Health Canada, 2012).

De acordo com o Plano de Segurança da Água da OMS (WHO, 2011), o estabelecimento de medidas de proteção do sistema de abastecimento de água é possibilitado pela conjugação de diversos fatores como evidências epidemiológicas, avaliação quantitativa de risco químico e microbiológico, estabelecimento de nível de risco ou carga de doença tolerável e avaliação de desempenho do tratamento e da qualidade da água. Os resultados do monitoramento ambiental de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. configuram-se como evidências importantes, mas que precisam ser complementadas por evidências quantificáveis de incidência ou prevalência das doenças de veiculação hídrica e por dados de eficiência de tratamento, direcionando, assim, o estabelecimento de medidas de controle apropriadas. Neste sentido, estes resultados evidenciam a necessidade de uma política de gestão de risco, a ser efetivada pelo Centro de Vigilância Sanitária, em conjunto com as empresas de saneamento, visando intensificar a proteção dos mananciais e aprimorar os sistemas de tratamento de água e esgoto.

4.2.4.2.1. SARS-CoV-2

Destaca-se que, juntamente com as atividades de vigilância ambiental de microrganismos patogênicos, a CETESB tem realizado o monitoramento de SARS-CoV-2, agente causador da COVID-19. As informações acerca desse programa estão disponíveis na página da CETESB (<https://cetesb.sp.gov.br/sars-cov-2/>).

O monitoramento de SARS-CoV-2, agente causador da COVID-19, teve início em abril de 2020, com o objetivo principal de acompanhar a disseminação do vírus ao longo do tempo e fornecer dados complementares para orientar ações de saúde pública no enfrentamento da pandemia. Essa atividade passou a integrar as atividades de vigilância ambiental de microrganismos patogênicos realizadas pela CETESB, desde a década de 1970, em parceria com o Centro de Vigilância Epidemiológica da Secretaria do Estado da Saúde de São Paulo (CVE-SES-SP) e a SABESP.

Embora o SARS-CoV-2 seja um vírus predominantemente respiratório, pode causar sintomas gastrointestinais como náuseas, dores abdominais, vômitos e diarreia (Moura et al., 2022). Assim como ficou demonstrado que as pessoas infectadas eliminam o vírus não somente pela saliva e secreções nasofaríngeas, mas também pelas fezes, e em menor grau pela urina (Jeong et al., 2020). Até o momento, não há evidências de transmissão fecal-oral ou hídrica de SARS-CoV-2 (Termansen e

Frische, 2023), bem como SARS-CoV-2 infeccioso não foi isolado de águas residuais (Sherchan et al. 2023).

A epidemiologia baseada na análise de esgoto (da sigla em inglês WBE – Wastewater Based Epidemiology) é utilizada principalmente como uma ferramenta de avaliação da tendência de casos ou como um sistema de alerta para a reintrodução da doença em uma determinada comunidade. Foi demonstrado que as concentrações de SARS-CoV-2 nos esgotos antecipam a tendência de casos novos em alguns dias e mesmo na ausência de casos notificados, a vigilância ambiental foi sensível o suficiente para detectar a presença dos vírus nos esgotos antes mesmo da identificação dos doentes (Lodder e de Roda Husman, 2020; Martin et al., 2000; Medema et al., 2020).

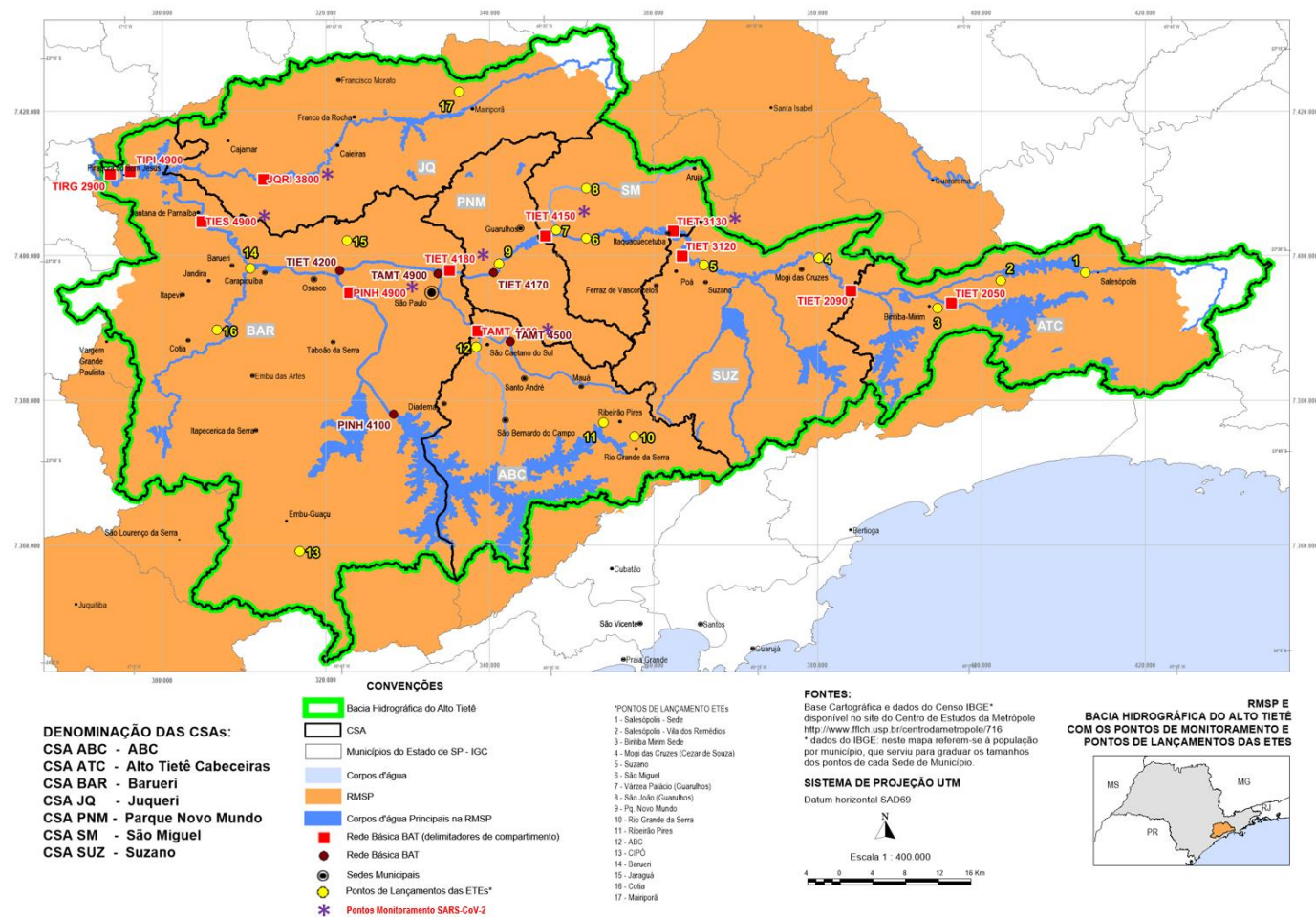
Inicialmente foram selecionados 7 pontos em rios localizados na Bacia do Alto Tietê (BAT), representativos da contribuição das principais bacias de esgotamento sanitário da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) (Figura 9). As amostragens foram realizadas com periodicidade quinzenal ou mensal. Esses pontos foram considerados pontos estratégicos de avaliação da qualidade das bacias de drenagem de esgoto da BAT e compõe as unidades territoriais denominadas Compartimentos Sanitários Ambientais (CSA). Os CSAs, definidas no estudo de Oliveira (2015), foram delimitados com base nas sub-bacias de drenagem de esgoto para as cinco grandes ETEs metropolitanas (Suzano, ABC, São Miguel, Parque Novo Mundo e Barueri) que compõem o Sistema Principal da SABESP; regiões não cobertas pelo Sistema Principal da SABESP, mas que contribuem para a drenagem de cargas poluidoras dentro da CSA; e Bacia do Juqueri (Tabela 4).

Tabela 4 - Pontos de monitoramento da vigilância ambiental de SARS-CoV-2 em rios que compõe os Compartimentos Sanitários Ambientais da região metropolitana de São Paulo

Ponto Código	Corpo Hídrico	Descrição	Compartimento Sanitário Ambiental (CSA)	Justificativa	Municípios totalmente ou parcialmente contidos na CSA
TIET 03130	Rio Tietê	Ponte na Estrada de Santa Isabel Itaquaquecetuba, SP	Suzano (CSA-SUZ)	Próximo ao exutório do CSA-SUZ e a jusante da ETE-SUZ	Ferraz de Vasconcelos, Itaquaquecetuba, Mogi das Cruzes, Ribeirão Pires, Poá, Suzano
TIET 04150	Rio Tietê	Ponte na Rod. Ayrton Senna, a montante do Parque Ecológico Tietê - São Paulo, SP	São Miguel (CSA-SM)	A jusante da ETE PNM	Arujá, Ferraz de Vasconcelos, Guarulhos, Poá, São Paulo

TIET 04180	Rio Tietê	Ponte das Bandeiras, na Av. Santos Dumont São Paulo, SP	Parque Novo Mundo (CSA-PNM)	Entrada do CSA-BAR (próximo ao exutório do CSA-PNM)	Guarulhos, São Paulo
TIES 04900	Rio Tietê	Reservatório Edgard de Souza Santana do Parnaíba, SP	Barueri (CSA-BAR)	A jusante da ETE Barueri (exutório de SP e ponto de referência: impactos da BAT e da ETE Barueri)	Barueri, Carapicuíba, Cotia, Embu das Artes, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Itapevi, Jandira, Osasco, Pirapora do Bom Jesus, Santana de Parnaíba, São Paulo, Taboão da Serra
PINH 04900	Rio Pinheiros	Na estrutura do Retiro, próximo a sua foz no Rio Tietê - São Paulo, SP			
TAMT 04600	Rio Tamanduateí	Ponte na Av. Francisco Mesquita, 1000 São Paulo, SP	ABC (CSA-ABC)	Bacia do rio Tamanduateí	Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, São Paulo
JQRI 03800	Rio Juqueri	Ponte na rodovia Anhanguera (SP-330) Cajamar, SP	Juqueri (CSA-JQ)	No terço final bacia do Juqueri	Caieiras, Cajamar, Francisco Morato, Franco da Rocha, Mairiporã, São Paulo

Figura 9 - Compartimentos Sanitários Ambientais (CSA) da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê



Fonte: modificado Oliveira (2015)

As amostras foram concentradas pela técnica de ultrafiltração (Medema et al., 2020), o RNA viral foi extraído com kit comercial (Allprep DNA/RNA, QIAgen) e as concentrações de SARS-CoV-2 nas amostras foram obtidas pela técnica de RT-qPCR, empregando os genes alvos N1 e N2 do nucleocapsídeo viral (CDC, 2020). Importante ressaltar que essa técnica detecta e quantifica apenas o RNA viral e não possibilita diferenciar se o vírus detectado está viável e infeccioso, ou seja, capaz de causar uma infecção.

As cargas virais de SARS-CoV-2 são obtidas pela multiplicação da concentração viral pela vazão média do dia.

4.2.4.3. Variáveis Toxicológicas

Os ensaios toxicológicos permitem avaliar os efeitos adversos causados por contaminantes químicos aos organismos. Os efeitos avaliados dependem de cada teste, podendo ser alterações em processos bioquímicos celulares, alterações no material genético, mudanças de comportamento, ou até mesmo a morte dos organismos. Os efeitos, por sua vez, podem ser verificados em diferentes organismos, sejam eles habitantes naturais do local estudado ou organismos-padrão, representantes de diferentes níveis tróficos do ambiente.

4.2.4.3.1. Teste de *Salmonella*/microsoma (Teste de Ames)

A CETESB incluiu em 1999, na Rede de Monitoramento, o ensaio de *Salmonella*/microsoma (conhecido como Teste de Ames), eficiente para detectar uma grande variedade de compostos mutagênicos, realizado principalmente em águas de captação. Em 2016, foi incluído o Ensaio de Micronúcleos *in vitro*, que complementa o primeiro. A presença de compostos mutagênicos decorrentes de atividades antropogênicas tem sido preocupação dos órgãos de meio ambiente no mundo inteiro. Seu uso objetiva verificar a presença de contaminantes que podem alterar o material genético dos organismos, sejam eles da flora e fauna do local estudado ou outros que possam entrar em contato com estes compostos. Os resultados dos testes de mutagenicidade podem indicar a necessidade de investigação de possíveis

fontes de contaminação e priorização de locais de intervenção, auxiliando nas ações de controle de poluição.

4.2.4.3.2. Ensaio ecotoxicológico com *Ceriodaphnia dubia*

O ensaio ecotoxicológico com *Ceriodaphnia dubia* é realizado com amostras de água bruta, sendo utilizado para avaliar a ocorrência de efeitos tóxicos, agudos e crônicos, nos corpos de água para os quais está prevista a preservação da vida aquática. O resultado do ensaio é expresso como agudo (quando ocorre efeito significativo na sobrevivência dos organismos, dentro do período inicial de 48 horas) ou crônico (quando ocorre efeito significativo na reprodução e/ou sobrevivência dos organismos, dentro do período de sete dias de ensaio). A amostra é considerada não tóxica caso não haja detecção de quaisquer efeitos tóxicos aos organismos-teste.

4.2.4.3.3. Toxicidade Aguda com *Vibrio fischeri* (Sistema Microtox®)

A bactéria marinha luminescente *Vibrio fischeri* emite luz naturalmente em ambientes aquáticos. O Ensaio de Toxicidade Aguda com *Vibrio fischeri* (Sistema Microtox®) baseia-se na exposição da bactéria a uma amostra durante 15 minutos. Na presença de substâncias tóxicas a luminescência diminui, sendo esta diminuição de intensidade de luz proporcional à toxicidade da amostra.

A bactéria apresenta alta tolerância a baixas concentrações de Oxigênio Dissolvido e Nitrogênio Amoniacal, sendo este ensaio empregado principalmente na avaliação de corpos hídricos Classe 4, altamente impactados, e nos casos em que há suspeita da presença de compostos xenobióticos.

Em corpos hídricos Classes Especial, 2 e 3, o ensaio é empregado com o objetivo de complementar o monitoramento ecotoxicológico em locais que não são monitorados por meio de outros ensaios.

4.2.4.4. Variáveis Bioanalíticas

4.2.4.4.1. Interferentes Endócrinos

Interferentes endócrinos são compostos que possuem a capacidade de interferir na produção ou ação dos hormônios, podendo causar danos ao sistema reprodutor e imunológico de organismos superiores, especialmente organismos aquáticos. Esses compostos podem atingir os corpos de água pela contaminação por efluentes domésticos, industriais, pesticidas ou outros compostos oriundos de poluição difusa.

O ensaio para determinação de atividade estrogênica avalia a presença de uma classe de interferentes endócrinos, dos compostos capazes de ligarem-se ao receptor de estrógeno. O estrógeno é um hormônio sexual feminino, importante no desenvolvimento do sistema reprodutor e na fertilidade dos organismos. Compostos que se ligam ao receptor de estrógeno podem mimetizar a ação do hormônio natural, interferindo nesse sistema hormonal.

A CETESB utiliza o ensaio biológico BLYES (*Bioluminescent yeast screen*) para determinação de atividade estrogênica, avaliando a presença de uma classe de interferentes endócrinos, dos compostos capazes de ligarem-se ao receptor de estrógeno. O BLYES é um teste *in vitro* que utiliza uma linhagem da levedura *Saccharomyces cerevisiae* geneticamente modificada pela inserção de um gene para expressão do receptor de estrogênio humano (hER). Os resultados do ensaio são expressos em atividade equivalente (EEQ: equivalentes de estradiol ou ng equivalente a estradiol por litro) comparada a uma substância referência, no caso o hormônio natural 17-beta-estradiol.

4.2.4.4.2. Determinação da atividade glicocorticoide (ensaio GR-CALUX)

Dentre a classe dos contaminantes emergentes, os fármacos têm sido alvo de grande preocupação ambiental internacional nas últimas décadas. Apesar da crescente quantidade de estudos que demonstram o potencial impacto destas

substâncias na biota aquática nas últimas décadas, seus efeitos adversos ainda estão sendo elucidados.

Os glicocorticoides são uma classe de corticoides, que são hormônios esteroides naturalmente produzidos pelo organismo (como o cortisol) ou seus compostos sintéticos. Devido a potente ação anti-inflamatória, os glicocorticoides são amplamente empregados como fármacos (cortisona, dexametasona, prednisolona, entre outros) em diversos quadros clínicos e doenças imunes como asma, artrite reumatóide, alergias, doenças de pele, além do uso veterinário. Após o uso, esses compostos atingem os corpos d'água por meio dos efluentes e podem oferecer risco aos organismos aquáticos, e, eventualmente, a saúde humana.

A CETESB emprega o ensaio GR-CALUX (*Glucocorticoid response – Chemical activated luciferase expression*) para avaliação da atividade glicocorticoide. O ensaio *in vitro* utiliza células de osso humano, geneticamente modificadas com a inserção do receptor glicocorticoide (GR) para a detecção desta classe de compostos (agonistas capazes de se ligar ao receptor). Na presença desses compostos, as células produzem luz. O resultado é expresso em atividade equivalente a dexametasona (ng eq. Dex/L), composto utilizado como referência no ensaio.

4.2.4.5. Variáveis Biológicas

Efluentes industriais, esgotos domésticos, presença de agrotóxicos, lixiviados de áreas urbanas e quaisquer outros contaminantes, carreados para ou lançados no corpo hídrico, alteram o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos e podem provocar impactos que impedem, ou prejudicam, os diferentes usos previstos da água. Análises químicas são geralmente capazes de identificar e quantificar as substâncias de origem antropogênica presentes na água, no entanto, o número de contaminantes presentes no ambiente é crescente e nem todos serão determinados em um programa de monitoramento. Mesmo para os compostos analisados, os resultados não permitem determinar os efeitos que estes compostos têm sobre os organismos que a eles estão expostos. Além disso,

deve ser considerado que, na avaliação da qualidade ambiental, raramente um efeito observado decorre da ação de um único composto. Dessa forma, encontram-se no ambiente misturas complexas, compostas de inúmeras substâncias que podem ou não interagir entre si, podendo modificar as respostas esperadas para cada uma delas isoladamente. Há também a contaminação biológica, em que os poluentes são organismos que não fazem parte da fauna/flora original do ambiente aquático (espécies exóticas) e que podem ser danosos a outros organismos, podendo alterar a composição de espécies nativas, ou evidenciar a presença de efluentes domésticos/urbanos.

Além das variáveis químicas, o monitoramento da qualidade dos ambientes aquáticos também compreende uma série de testes e ensaios biológicos, que servem para 1) identificar a presença de microrganismos patogênicos, de indicadores de poluição doméstica e a presença de espécies exóticas ou; 2) avaliar os efeitos nocivos dos contaminantes químicos sobre os organismos e comunidades expostas.

Finalmente, a avaliação da qualidade dos ambientes aquáticos por meio das respostas das comunidades fito e zooplanctônicas e de macroinvertebrados bentônicos, integrando o impacto de estressores químicos, físicos e biológicos, fazendo uso de medidas relacionadas a alterações na sua estrutura e funcionamento, possibilita, por meio de índices biológicos, a classificação da qualidade dos ambientes, considerando a proteção da vida aquática.

4.2.4.5.1. Comunidades Aquáticas

O emprego de comunidades biológicas contribui para o caráter ecológico da rede de monitoramento, subsidiando decisões relacionadas à preservação da vida aquática e do ecossistema como um todo.

Alterações estruturais ou funcionais das comunidades aquáticas são utilizadas na avaliação de impactos ambientais. Indicadores como o número total de organismos, presença ou ausência de espécies sensíveis ou tolerantes, grau de dominância de grupos ou espécies, presença de espécies introduzidas, entre outros, podem ser traduzidos em índices numéricos, ou em avaliações qualitativas. Cada um dos indicadores definidos pode ser avaliado individualmente ou de modo integrado em índices multimétricos. Com base nesses preceitos, a CETESB adota diversos índices para as comunidades aquáticas no seu monitoramento da qualidade dos corpos hídricos.

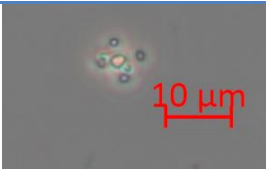
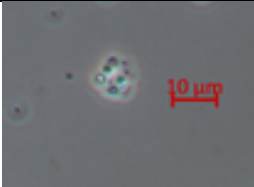
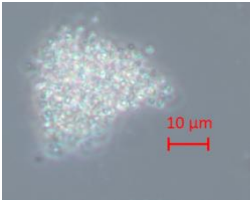
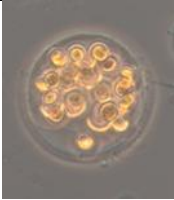
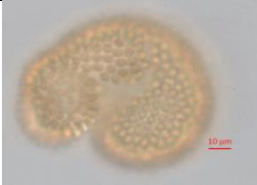
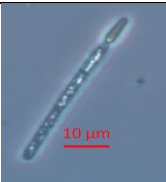
4.2.4.5.1.1. Comunidade Fitoplanctônica

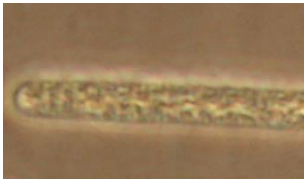
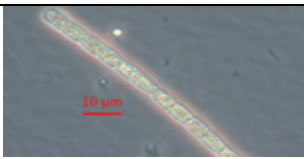
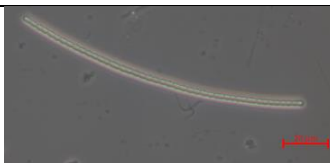
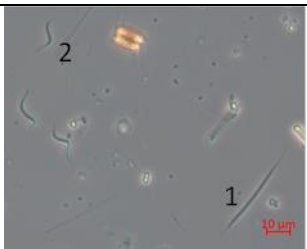
A comunidade fitoplanctônica pode ser utilizada como indicadora da qualidade da água, principalmente em reservatórios, e a análise de sua estrutura permite avaliar alguns efeitos decorrentes de alterações ambientais. Esta comunidade é a base da cadeia alimentar e, portanto, a produtividade dos elos seguintes depende da sua biomassa, bem como de outras alterações que essa comunidade impõe ao ambiente. O fitoplâncton é um indicador do estado trófico, além disso, sua tolerância à poluição orgânica está bem documentada na literatura (Beyruth, 1996), podendo ainda ser utilizado como indicador de poluição por pesticidas ou metais pesados (presença de espécies resistentes ao cobre) em reservatórios utilizados para abastecimento (CETESB, 1992; CETESB, 1996). Além disso a presença de algumas espécies em altas densidades pode comprometer a qualidade das águas, impondo restrições ao seu tratamento e distribuição.

Os principais gêneros encontrados no monitoramento foram inseridos na Tabela 5, onde também consta as imagens e observações referentes à produção de cianotoxinas.

Tabela 5 - Principais gêneros encontrados no monitoramento, com imagens e observações sobre produção de cianotoxinas

Gênero	Imagem	Observações
--------	--------	-------------

<i>Cyanogranis</i>		Gênero picoplanctônico sem registro de produção de cianotoxinas
<i>Epigloeosphaera</i> / <i>Lemmermanniella</i>		Gêneros picoplanctônicos semelhantes. Na <i>Epigloeosphaera</i> as células estão na superfície da mucilagem e no outro gênero estão no interior. São registrados dessa forma devido à dificuldade de identificação em microscopia óptica. Sem registro de produção de cianotoxinas.
<i>Aphanocapsa</i>		Gênero picoplanctônico potencialmente produtor de microcistina (Chorus e Welker, 2021)
<i>Microcystis</i>		Potencialmente produtor de microcistina (Chorus e Welker, 2021)
<i>Woronichinia</i>		Potencialmente produtor de microcistina (Chorus e Welker, 2021)
<i>Dolichospermum</i>		Potencialmente produtor de microcistina, cilindrospermopsina e saxitoxinas e seus análogos (Chorus e Welker, 2021)
<i>Raphidiopsis</i> / <i>Cylindrospermopsis</i>		A nomenclatura do <i>Raphidiopsis</i> era <i>Cylindrospermopsis</i> . Potencialmente produtor de cilindrospermopsina,

		saxitoxina e seus análogos (Chorus e Welker, 2021) e microcistina (Paerl e Otten, 2013).
<i>Planktothrix</i>		Potencialmente produtor de microcistina e saxitoxina e seus análogos (Paerl e Otten, 2013; Chorus e Welker, 2021).
<i>Aphanizomenon</i>		Potencialmente produtor de microcistina e saxitoxina e seus análogos (Paerl e Otten, 2013; Chorus e Welker, 2021).
<i>Cuspidothrix</i>		Potencialmente produtor de microcistina e saxitoxina e seus análogos (Paerl e Otten, 2013; Chorus e Welker, 2021).
<i>Pseudanabaena</i>		Apresenta poucos relatos sobre produção de microcistina; relatos de sua potencial capacidade de produção de MIB e geosmina são mais comuns (Chorus e Welker, 2021).
Cianobactéria filamentosa ainda não identificada		Descrita no “Atlas de Cianobactérias da Bacia do Alto Tietê” desenvolvido pela CETESB (Lamparelli et al., 2014), mas ainda não identificada por taxonomistas. Essa filamentosa é muito fina e pode aparecer de forma reta (1) ou curva (2). Sem registro de produção de cianotoxinas.

Fotos: Câmera AxioCAM acoplada a microscópio Zeiss. Aumento de 400X.

Referências:

- PAERL, H.W.; OTTEN, T.G. Harmful Cyanobacterial Blooms Causes, Consequences, and Controls. **Microbial Ecology**. 2013.
- LAMPARELLI, M.C.; TUCCI, A.; SANT'ANNA, C. L.; PIRES, D. A.; LERCHE, L. H. M.; CARVALHO, M. do C.; ROSAL, C. **Atlas de Cianobactérias da Bacia do Alto Tietê**, São Paulo, CETESB. 2014.
- CHORUS, I.; WELKER, M. (Ed.). **Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management**. Second Edition. CCR Press, Boca Raton (FL); WHO, Geneva, CH 2021.

4.2.4.5.1.2. Comunidade Bentônica

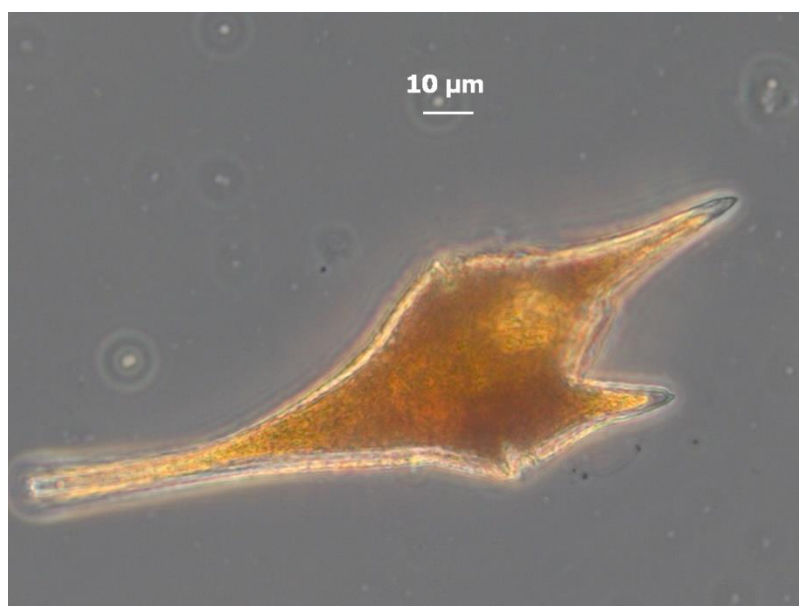
A comunidade bentônica corresponde ao conjunto de organismos que vive todo ou parte de seu ciclo de vida no substrato de fundo de ambientes aquáticos. Os macroinvertebrados (invertebrados selecionados em rede de 0,5mm) que compõe essa comunidade, têm sido sistematicamente utilizados em redes de biomonitoramento em vários países, porque ocorrem em todo tipo de ecossistema aquático, exibem ampla variedade de tolerâncias a vários graus e tipos de poluição, têm baixa motilidade e estão continuamente sujeitos às alterações de qualidade do ambiente aquático, inserindo o componente temporal ao diagnóstico e, como monitores contínuos, possibilitam a avaliação a longo prazo dos efeitos de descargas regulares, intermitentes e difusas, de concentrações variáveis de poluentes, de poluição simples ou múltipla e de efeitos sinérgicos e antagônicos de contaminantes. Nos reservatórios, as comunidades de duas zonas de estudo foram consideradas, sub-litoral e profunda. A primeira, mais sensível a degradação recente, ou seja, a contaminantes presentes na coluna d'água, e a segunda ao histórico de degradação local, associada a contaminantes acumulados nos sedimentos. O emprego dessa e de outras comunidades confere caráter ecológico à rede de monitoramento, subsidiando decisões relacionadas à preservação da vida aquática e do ecossistema como um todo. O emprego de indicadores de causas (dado químico) e efeitos (dados toxicológicos e biológicos) da degradação ambiental gera um diagnóstico mais confiável da qualidade de sedimentos.

4.2.4.5.1.3. Espécies Exóticas

Entende-se por espécie exótica todo organismo presente em área diferente de sua distribuição natural. O principal vetor de disseminação de espécies exóticas é o homem, que pode fazê-lo de forma acidental ou intencional. Quando ocupa uma nova área a espécie, mediante seus hábitos generalistas, oferta de alimento e ausência de predadores naturais, pode se reproduzir em demasia, exercendo pressão por competição ou predação sobre as espécies nativas. Quando isso ocorre, a espécie recebe também a alcunha de invasora e é denominada, portanto, como exótica invasora. As espécies exóticas invasoras representam um dos principais fatores de perda de diversidade na natureza. Sua erradicação é praticamente impossível em ecossistemas aquáticos, sendo a prevenção da dispersão a melhor forma de gestão do problema. Qualquer forma de transporte fluvial e de transposição de águas entre bacias é potencial dispersor de espécies exóticas. Nesse sentido, é importante reduzir essas práticas ou adotar medidas mitigadoras, como a limpeza e desinfecção de embarcações que precisem transpor bacias hidrográficas.

O dinoflagelado do gênero *Ceratium* (Figura 10), organismo planctônico considerado invasor em águas doces no Brasil (Silva *et al.*, 2012), foi registrado pela primeira vez no Estado de São Paulo em 2008 no Reservatório Billings (CETESB, 2009).

Figura 10 - Dinoflagelado do gênero *Ceratium*



Como esse organismo é capaz de migrar na coluna d'água, e a amostragem é realizada na superfície, a ausência de registro na análise não significa que ele não esteja presente no local, apenas que não foi coletado.

4.2.5. Avaliação dos Resultados

4.2.5.1. Atendimento aos padrões de qualidade

O atendimento aos padrões de qualidade é analisado de acordo com os padrões definidos na Resolução CONAMA nº 357/2005 para cada uma das classes de qualidade dos corpos hídricos, conforme os usos preponderantes. Para o estado de São Paulo, o Decreto Estadual nº 10.755/1977, juntamente com as deliberações do Conselho de Recursos Hídricos, determina o enquadramento dos corpos hídricos, garantindo o cumprimento dos requisitos legais de qualidade da água. Os resultados de *Escherichia coli* (*E. coli*) são comparados aos padrões estabelecidos pela Decisão de Diretoria nº 112/2013/E, conforme publicado no Diário Oficial do Estado de São Paulo.

4.2.5.1.1. Atendimento aos padrões de qualidade da Classe 2

Nessa análise avaliam-se os resultados em relação ao atendimento dos padrões da Classe 2 em todos os corpos hídricos monitorados, uma vez que os usos previstos na legislação para essa classe incluem a proteção da vida aquática e o abastecimento público após tratamento convencional, fornecendo assim uma visão geral da qualidade das águas do estado.

4.2.5.1.2. Atendimento aos padrões de qualidade das classes mais exigentes

Nessa análise, avaliam-se os resultados em relação à conformidade em relação aos padrões de qualidade para a classe atual de enquadramento de cada corpo de água, assim como comparações com padrões de classes de qualidade mais

exigentes. Desta forma, vislumbra-se um cenário onde é possível subsidiar futuras ações dos órgãos competentes, visando à recuperação progressiva da qualidade dos corpos de água, conforme previsto na Resolução CONAMA nº 357/2005.

4.2.5.2. Índices de Qualidade

Os índices e indicadores ambientais nasceram como resultado da crescente preocupação social com as consequências ambientais do desenvolvimento, que requerem um número elevado de informações em graus de complexidade cada vez maiores. Por outro lado, os indicadores tornaram-se fundamentais no processo decisório das políticas públicas e no acompanhamento de seus resultados. Esta dupla vertente apresenta-se como um desafio permanente de gerar indicadores e índices que tratem um número cada vez maior de informações, de forma sistemática e acessível, para os tomadores de decisão.

As principais vantagens dos índices são a facilidade de comunicação com o público leigo, o *status* mais amplo do que as variáveis isoladas pelo fato de fundir diversas variáveis em um único valor, mesmo com unidades de medidas diferentes. No entanto, sua principal desvantagem consiste na perda de informação das variáveis individuais e da sua inter-relação. De forma que o índice, apesar de fornecer uma avaliação integrada, jamais substituirá uma avaliação detalhada da qualidade das águas de uma determinada bacia hidrográfica.

Nessa linha, a CETESB utiliza desde 1975, o Índice de Qualidade das Águas – IQA, com vistas a servir de informação básica de qualidade de água para o público em geral, bem como para o gerenciamento ambiental das 22 Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do estado de São Paulo.

As variáveis de qualidade, que fazem parte do cálculo do IQA, refletem, principalmente, a contaminação dos corpos hídricos pelo lançamento de esgotos domésticos, tendo sido desenvolvido para avaliar a qualidade das águas para o abastecimento público, considerando aspectos relativos ao tratamento dessas águas.

O crescimento da urbanização, do agronegócio e das atividades industriais no estado de São Paulo, pode resultar em maior comprometimento da qualidade das águas dos rios e reservatórios, caso essas atividades não sejam devidamente controladas, em razão da maior complexidade dos poluentes lançados no meio ambiente e das deficiências nos sistemas de coleta e tratamento dos esgotos domésticos.

Sendo assim, a qualidade da água obtida através do IQA apresenta algumas limitações, entre elas a de considerar apenas a sua utilização para o abastecimento público e por não contemplar outras variáveis, tais como: metais pesados, compostos orgânicos com potencial mutagênico, substâncias que afetam as propriedades organolépticas da água, número de células de cianobactérias e o potencial de formação de trihalometanos das águas de um manancial.

Tanto na Legislação Estadual (Decreto Estadual nº 8.468/1976) quanto na Federal (Resolução CONAMA nº 357/2005), está estabelecido que os usos dos recursos hídricos envolvem, dentre outros:

- Abastecimento público;
- Recreação;
- Preservação do equilíbrio das comunidades aquáticas.

Sendo assim, desde 2002, a CETESB utiliza índices específicos para cada uso do recurso hídrico.

O IAP, comparado com o IQA, é um índice mais fidedigno da qualidade da água bruta a ser captada que, após tratamento, será distribuída para a população. Do mesmo modo, o IVA foi considerado um indicador mais adequado da qualidade da água visando a proteção da vida aquática, por incorporar, com ponderação mais significativa, variáveis mais representativas, especialmente a ecotoxicidade e a eutrofização. Para refletir a qualidade das águas para seus múltiplos usos, tem-se, ainda o Índice de Balneabilidade – IB, que avalia as condições da água para fins de recreação de contato primário. O Índice de Estado Trófico – IET, estabelece o grau de trofia dos corpos hídricos, avaliando o enriquecimento por nutrientes e seus efeitos relacionados ao crescimento excessivo de algas, e

compõe o IVA. Os índices de comunidades (Fitoplanctônica, Zooplânctônica e Bentônica) também auxiliam no diagnóstico da qualidade para fins de preservação da vida aquática.

Os índices são utilizados para fornecer uma visão geral da qualidade da água, pois integram os resultados de diversas variáveis através de um único indicador. Assim, para transmitir uma informação passível de compreensão pelo público em geral, a CETESB utiliza índices específicos que refletem a qualidade das águas de acordo com seus usos pretendidos.

A descrição detalhada dos índices de qualidade de água e de sedimento utilizados pela CETESB e a metodologia de cálculo constam no **Apêndice C**.

A Tabela 6 apresenta as categorias e faixas de classificação dos índices de qualidade de água.

Tabela 6 – Categorias e faixas de classificação dos Índices de Qualidade de Água

Índice	Categoria					
IQA	Ótima $79 < IQA \leq 100$	Boa $51 < IQA \leq 79$	Regular $36 < IQA \leq 51$		Ruim $19 < IQA \leq 36$	Péssima $IQA \leq 19$
IAP	Ótima $79 < IAP \leq 100$	Boa $51 < IAP \leq 79$	Regular $36 < IAP \leq 51$		Ruim $19 < IAP \leq 36$	Péssima $IAP \leq 19$
IVA	Ótima $IVA \leq 2,5$	Boa $2,6 \leq IVA \leq 3,3$	Regular $3,4 \leq IVA \leq 4,5$		Ruim $4,6 \leq IVA \leq 6,7$	Péssima $IVA \geq 6,8$
IET	Ultraoligotrófico $IET \leq 47$	Oligotrófico $47 < IET \leq 52$	Mesotrófico $52 < IET \leq 59$	Eutrófico $59 < IET \leq 63$	Supereutrófico $63 < IET \leq 67$	Hipereutrófico $IET > 67$
ICF	Ótima 1	Boa 2	Regular 3		Ruim 4	
ICZ		Boa	Regular		Ruim	Péssima

Legenda: IQA – Índice de Qualidade das Águas; IAP - Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público; IVA - Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática; IET – Índice do Estado Trófico; ICF - Índice da Comunidade Fitoplanctônica; ICZ - Índice da Comunidade Zooplanctônica

4.2.5.2.1. IQA – Índice de Qualidade das Águas

O IQA fornece uma avaliação geral da qualidade do corpo de água, em função de variáveis associadas principalmente à presença de efluentes sanitários, como também industriais.

O IQA é calculado em todos os pontos da Rede Básica.

4.2.5.2.2. IAP – Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público

O IAP é o índice utilizado pela CETESB para indicar as condições de qualidade das águas para fins de abastecimento público. Além das variáveis consideradas no IQA, são avaliadas as substâncias tóxicas e as variáveis que afetam a qualidade organoléptica da água.

Esse índice é calculado nos pontos de amostragem dos rios e reservatórios que são utilizados para o abastecimento público ou em locais de transposição de águas para outros reservatórios que são utilizados para abastecimento

4.2.5.2.3. IVA – Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática

O IVA é utilizado para avaliar a qualidade das águas para a proteção da vida aquática, incluindo no seu cálculo as variáveis essenciais para os organismos aquáticos (Oxigênio Dissolvido, pH, Toxicidade por meio de ensaio Ecotoxicológico com *Ceriodaphnia dubia*), as substâncias tóxicas e o grau de trofia.

O cálculo do IVA é priorizado em pontos que estão enquadrados em classes que preveem a proteção da vida aquática excluindo-se, assim, os corpos hídricos Classe 4 (Resolução CONAMA nº 357/2005).

4.2.5.2.4. IET – Índice do Estado Trófico

O IET classifica os corpos de água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas e cianobactérias.

O IET é calculado prioritariamente nos pontos em cuja classe está prevista a proteção da vida aquática.

4.2.5.2.5. ICF, ICZ e ICB – Índice da Comunidade Fitoplanctônica, Índice da Comunidade Zooplanctônica e Índice da Comunidade Bentônica

Os índices de comunidades complementam a avaliação do IVA, fornecendo o diagnóstico ambiental por meio dos grupos de organismos fitoplanctônicos (ICF), zooplanctônicos (ICZ) e bentônicos (ICB), com base em informações como: densidade, dominância, diversidade e outras métricas, para a classificação dos diferentes meios.

O ICB é adaptado para aplicação em diferentes tipos de habitats: ICB_{RES-SL} - ICB para região sublitoral, voltada para a avaliação da qualidade ecológica da massa de água; ICB_{RES-PR} e ICB_{RES-PP} - ICB para região profunda rasa ou profunda, respectivamente, dependendo da profundidade do local de amostragem, para a avaliação da qualidade dos sedimentos e ICB_{RIO} para rios.

4.2.5.3. Análise de Tendência

Na avaliação da evolução temporal da qualidade das águas superficiais, os resultados atuais são comparados com a média dos últimos 5 anos de forma a identificar possíveis alterações na qualidade.

Para uma análise mais detalhada, podem ser empregadas ferramentas estatísticas, especialmente regressões lineares, considerando comparações com as médias anuais dos últimos anos para uma determinada região, corpo hídrico ou mesmo ponto de monitoramento.

4.2.5.4. Análise integrada de qualidade e quantidade de água

É realizada uma análise gráfica integrando os aspectos de quantidade, representados pela vazão nos pontos de monitoramento, e de qualidade de água, expressos pelas cargas de matéria orgânica (Carbono Orgânico Total - COT) e Fósforo Total e pelo Índice de Qualidade das Águas – IQA. Essa análise é feita onde existem postos fluviométricos próximos ou coincidentes com os pontos de monitoramento de qualidade de água.

As cargas de COT e Fósforo Total foram estimadas a partir da multiplicação das concentrações dessas variáveis pela vazão média diária registrada no dia da coleta com os devidos ajustes dimensionais. Essa abordagem permite avaliar de forma integrada a influência das condições hidrológicas sobre o transporte de matéria orgânica e nutrientes nos corpos hídricos monitorados.

Para cada ponto, são apresentados hidrogramas do ano de referência, com a indicação das vazões correspondentes ao dia das coletas, possibilitando a verificação das condições hidrológicas no momento da amostragem. Adicionalmente, são elaborados gráficos comparativos entre as vazões médias mensais do ano com as médias mensais dos cinco anos anteriores, quando disponíveis, permitindo avaliar se o ano corrente foi mais seco ou mais chuvoso que a média dos anos anteriores, bem como identificar excepcionalidades hidrológicas associadas às campanhas de monitoramento.

Complementarmente, os resultados do IQA são analisados em conjunto com a vazão, de modo a possibilitar a visualização de variações na qualidade da água associadas às condições de maior ou menor disponibilidade hídrica, contribuindo para a interpretação integrada dos processos hidrológicos e da resposta da qualidade da água nos diferentes pontos de monitoramento.

Os dados de vazão foram fornecidos pela Agência de Águas do Estado de São Paulo (SP Águas), anteriormente denominada Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE).

4.2.6. Abrangência do Espacial do Monitoramento

A CETESB acompanha, de forma sistemática, a eficiência espacial da rede de monitoramento e a coerência desta com as transformações ambientais e socioeconômicas em curso no território paulista, por meio do Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento – IAEM. O índice avalia a representatividade espacial da rede frente às pressões antrópicas e à qualidade da água, indicando áreas onde a cobertura é adequada e regiões que requerem ações de gestão ou reforço do monitoramento. A metodologia do IAEM está descrita no Apêndice D.

4.2.7. Divulgação dos resultados

Anualmente é publicado o Relatório de Qualidade das Águas Interiores, documento que reúne de forma sistematizada os resultados do monitoramento e sua interpretação. Os relatórios estão disponíveis na página da CETESB <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>>.

Os dados da Rede Básica podem ser consultados pelo [Sistema INFOAGUAS](https://cetesb.sp.gov.br/infoaguas/) <<https://cetesb.sp.gov.br/infoaguas/>>

Além disso, Boletins de Qualidade específicos, são disponibilizados sistematicamente para acompanhamento da qualidade da água ao longo do ano <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/boletins-de-qualidade/>>.

4.3. REDE AUTOMÁTICA

A Rede Automática de Monitoramento da Qualidade das Águas do Estado de São Paulo tem por finalidade realizar o acompanhamento contínuo e sistemático da qualidade dos corpos hídricos, por meio da determinação *in situ* de parâmetros indicadores das condições de qualidade da água, com registro e transmissão automática das informações para centrais de gerenciamento, sem a necessidade de supervisão constante de operador.

A implantação das Estações Automáticas teve início em 1998, priorizando trechos estratégicos de rios e reservatórios, especialmente aqueles associados a mananciais de abastecimento público, regiões sob elevada pressão antrópica e áreas sujeitas a lançamentos pontuais ou difusos de poluentes. Desde então, a rede vem sendo progressivamente ampliada e aperfeiçoada, incorporando avanços tecnológicos, melhorias nos sistemas de aquisição e transmissão de dados e rotinas mais robustas de controle de qualidade, validação e disponibilização das informações.

A Rede Automática complementa o monitoramento convencional, realizado por meio de campanhas periódicas de coleta e análise laboratorial, ao possibilitar a obtenção de informações em alta resolução temporal, fundamentais para a detecção de eventos críticos e alterações abruptas na qualidade da água, além da constituição de séries históricas robustas que permitem identificar padrões intradiários, sazonais e eventuais, que não são captados por programas baseados exclusivamente em amostragens pontuais. Entre os principais objetivos da Rede Automática destacam-se:

- acompanhar continuamente a variação de parâmetros físico-químicos sensíveis a alterações na qualidade da água;
- detectar eventos atípicos ou críticos de curta duração;
- subsidiar ações de controle, fiscalização e investigação ambiental;
- fornecer subsídios a sistemas de alerta;
- complementar e fortalecer as informações geradas pelas redes de monitoramento manual.

A definição dos locais de instalação das estações automáticas é orientada por critérios técnicos que consideram, de forma integrada, a relevância ambiental do ponto a ser monitorado, a representatividade amostral (condições de fluxo, profundidade compatível com a instalação dos sensores), a infraestrutura (estabilidade das margens, segurança das estruturas existentes, disponibilidade de água limpa e energia elétrica e facilidade de acesso para as manutenções periódicas) e a segurança patrimonial local.

São priorizados pontos associados a mananciais de abastecimento público, corpos hídricos em processo de recuperação ambiental e regiões sob influência significativa de atividades urbanas, industriais ou agrícolas.

4.3.1. Variáveis monitoradas e frequência de aquisição dos dados

As estações automáticas operam, predominantemente, com sondas multiparâmetro instaladas diretamente no corpo hídrico, configuradas para medir de forma contínua parâmetros definidos como essenciais para a avaliação das condições de qualidade dos corpos d'água, conforme diretrizes estabelecidas na Resolução CONAMA nº 357/2005. As variáveis monitoradas compreendem:

- **Temperatura da água**, parâmetro que influencia diretamente os processos físicos, químicos e biológicos dos ecossistemas aquáticos, afetando a solubilidade de gases, a cinética das reações químicas e o metabolismo dos organismos. Variações significativas de temperatura podem alterar o equilíbrio do sistema e interferir no atendimento aos padrões de qualidade associados aos usos preponderantes definidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005;
- **Oxigênio Dissolvido**, variável fundamental para a manutenção da vida aquática, cujo teor está diretamente associado à capacidade de suporte do corpo hídrico. A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece concentrações mínimas de oxigênio dissolvido de acordo com a classe do corpo d'água, tornando esse parâmetro um dos principais indicadores de degradação ambiental, presença de cargas orgânicas e condições de eutrofização;
- **pH**, que expressa o equilíbrio ácido-base do meio aquático e influencia a toxicidade de substâncias químicas, a biodisponibilidade de nutrientes e metais e a sobrevivência da biota. A Resolução CONAMA nº 357/2005 define faixas de pH admissíveis para as diferentes classes de água doce,

fazendo desse parâmetro um indicador direto de conformidade com os padrões legais de qualidade;

- **Condutividade Elétrica**, relacionada à concentração de íons dissolvidos na água, constituindo um indicador indireto de alterações na composição química do corpo hídrico. Embora a condutividade elétrica não possua padrão específico estabelecido na Resolução CONAMA nº 357/2005, sua variação auxilia na interpretação de possíveis fontes de poluição, como lançamentos de efluentes ou escoamento superficial urbano e agrícola, e no suporte à análise integrada da qualidade da água;
- **Turbidez**, associada à presença de partículas em suspensão, que afetam a penetração de luz, a produtividade primária e os habitats aquáticos. A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece limites de turbidez para determinadas classes de corpos d'água, tornando esse parâmetro relevante para a avaliação do atendimento aos padrões de qualidade e para a identificação de processos de erosão, aporte de sedimentos e descargas de efluentes.

Esses parâmetros foram selecionados por apresentarem elevada relevância ambiental, ampla aplicabilidade em distintos tipos de corpos hídricos e sensibilidade às alterações decorrentes de ações antrópicas ou processos naturais, além de sua aderência aos critérios e padrões estabelecidos pela legislação ambiental vigente. As medições são realizadas em intervalos regulares de curta duração, garantindo elevada resolução temporal e permitindo a identificação de variações rápidas associadas a eventos hidrológicos, descargas poluidoras pontuais ou alterações operacionais em sistemas de saneamento.

Algumas estações dispõem, adicionalmente, de equipamentos para a medição de variáveis quantitativas, como nível d'água e precipitação, as quais contribuem para a contextualização hidrológica dos dados de qualidade.

4.3.2. Componentes e configuração das Estações Automáticas

As estações automáticas são compostas por diferentes equipamentos e sistemas integrados, responsáveis pela aquisição contínua, armazenamento e transmissão dos dados. Entre os principais componentes, destacam-se:

- abrigo para equipamentos, na forma de contêiner ou gabinete metálico, conforme mostrado na Figura 11;
- sistema de aquisição e transmissão de dados, composto por *datalogger*, conversores de sinal e dispositivos de comunicação, conforme mostrado na Figura 12 há duas Figuras 11;
- sistema de alimentação elétrica, incluindo rede convencional, *no break*, estabilizadores e, em alguns casos, painéis solares;
- sonda multiparâmetro para medição dos parâmetros de qualidade da água, conforme mostrado na Figura 13;
- dispositivos de instalação e proteção da sonda, como guinchos com dispositivos flutuantes, cestos flutuantes em aço inox ou instalações fixas em tubos perfurados, conforme mostrado na Figura 14;
- equipamentos auxiliares, quando aplicável.

Figura 11 – Exemplos de abrigo para equipamentos de uma Estação Automática



Figura 12 – Sistema de aquisição e transmissão de dados de uma Estação Automática nº da figura repetido

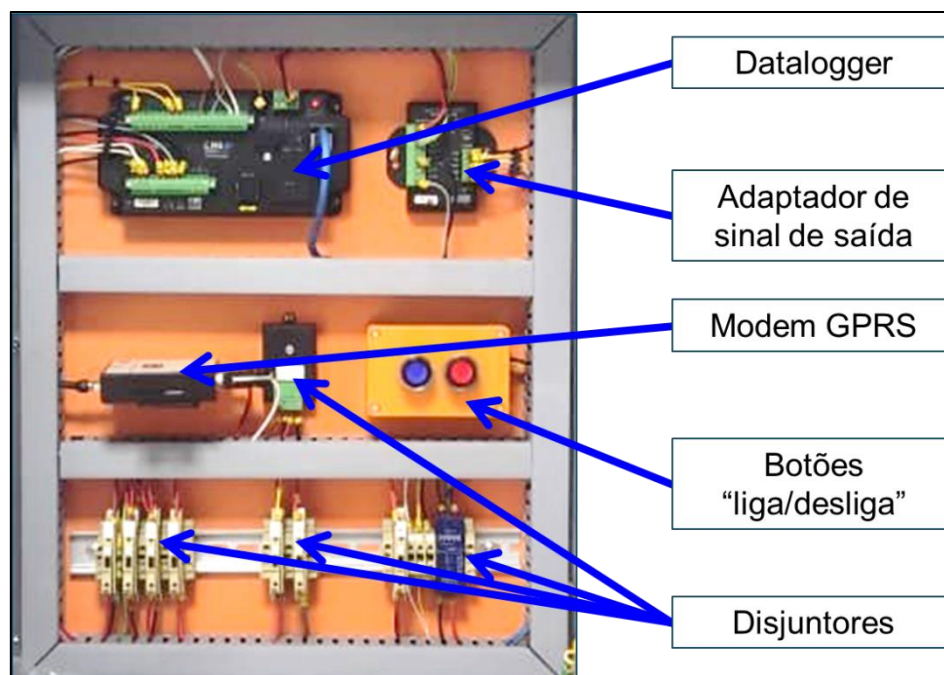
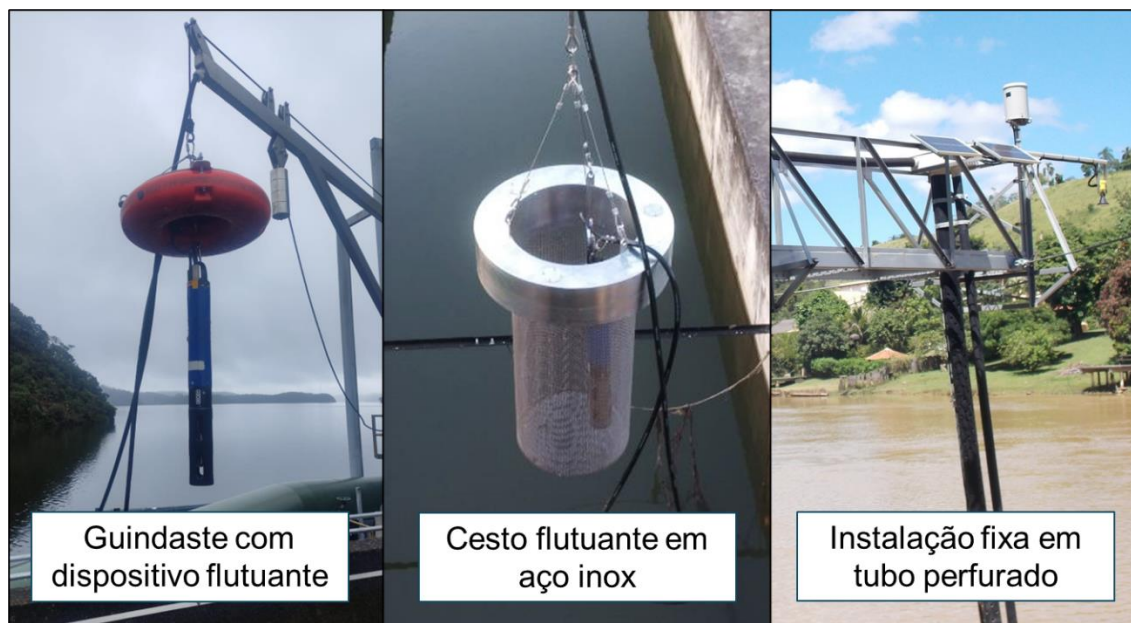


Figura 13 – Exemplo de sonda multiparâmetro utilizada nas Estações Automáticas



Figura 14 – Exemplos de dispositivos de instalação e proteção da sonda multiparâmetro em corpos de água



A configuração adotada em cada estação é definida em função das condições hidrodinâmicas, ambientais e operacionais do local monitorado, considerando aspectos como regime de escoamento, variações de nível d'água, profundidade disponível para instalação dos sensores, estabilidade das margens e características do leito. Adicionalmente, são avaliadas a suscetibilidade à deposição de sedimentos e à bioincrustação nos sensores, bem como fatores operacionais relacionados à segurança patrimonial das instalações, disponibilidade de infraestrutura de apoio e facilidade de acesso para realização de manutenções periódicas. Essa abordagem assegura a adequação técnica do sistema de monitoramento às particularidades de cada ponto, garantindo maior confiabilidade e continuidade das medições realizadas.

4.3.3. Aquisição, validação, supervisão remota e disponibilização dos dados

Os dados produzidos pelas sondas multiparâmetro instaladas nas estações da Rede Automática são registrados automaticamente em unidades de aquisição localizadas nas próprias estações e transmitidos por meio de sistemas de comunicação remota para o Sistema Integrado de Monitoramento da Qualidade

das Águas - SIMQUA, que constitui a plataforma central de recepção, gerenciamento, validação e disponibilização das informações geradas pela rede.

No SIMQUA, os dados recebidos passam por procedimentos sistemáticos de verificação de consistência e validação, que incluem a análise de coerência temporal das séries, a identificação de valores fora das faixas operacionais esperadas para cada parâmetro monitorado e a avaliação do desempenho dos sensores, com base em informações de calibração, manutenção e histórico de funcionamento das estações. Dados considerados inconsistentes, incompletos ou tecnicamente inválidos são devidamente sinalizados ou desconsiderados nas análises, assegurando a confiabilidade das informações disponibilizadas ao público e aos gestores.

As rotinas de calibração e verificação das sondas multiparamétricas são realizadas em laboratório e em campo, com a utilização de sondas de referência, e os resultados são registrados em fichas específicas de visita. Essas informações subsidiam diretamente os processos de validação conduzidos no SIMQUA, garantindo rastreabilidade, controle de qualidade e integridade das séries temporais geradas pela Rede Automática.

As frequências de manutenção das estações automáticas são definidas de forma diferenciada, considerando as características de cada corpo hídrico monitorado, o grau de impacto ambiental, as condições hidrodinâmicas locais e o risco de deposição de sedimentos ou bioincrustação nos sensores. Em função desses fatores, as atividades de manutenção podem ocorrer com periodicidade semanal, quinzenal ou mensal, especialmente em períodos críticos do ponto de vista hidrológico ou operacional.

Com base nos dados validados no SIMQUA, as estações da Rede Automática são submetidas a um processo de classificação instantânea da condição da qualidade da água, considerando os padrões estabelecidos na legislação ambiental vigente e os usos preponderantes dos corpos hídricos. Para fins de acompanhamento operacional e divulgação das informações, são consideradas, de forma geral, as seguintes situações:

- **qualidade da água satisfatória**, quando todos os parâmetros monitorados atendem aos padrões aplicáveis;
- **qualidade da água insatisfatória**, quando ao menos um dos parâmetros apresenta desconformidade em relação aos padrões estabelecidos;
- **informação em atualização**, quando os dados se encontram em processo de validação ou consolidação no sistema;
- **estação em manutenção**, quando a estação não se encontra temporariamente em operação.

O SIMQUA possibilita a supervisão remota contínua das estações automáticas e a disponibilização sistemática das informações por meio de diferentes formas de visualização, incluindo o acesso às condições atuais das estações, à consulta de séries históricas e à representação gráfica dos parâmetros monitorados. Para cada estação, o sistema apresenta ainda informações cadastrais e operacionais, tais como o corpo hídrico monitorado, a unidade de gerenciamento de recursos hídricos - UGRHI correspondente, a classe de qualidade do corpo d'água, a profundidade de medição, a data de início de operação e o respectivo status operacional.

As informações disponíveis no SIMQUA possibilitam a identificação de alterações significativas na qualidade da água em pontos sensíveis, como mananciais de abastecimento público, permitindo a emissão de alertas sempre que forem observadas condições que indiquem risco aos usos previstos para o corpo hídrico. Nesse contexto, a Rede Automática configura-se como um instrumento estratégico de apoio à tomada de decisão e à gestão dos recursos hídricos, ao fornecer informações contínuas, consistentes e tempestivas que subsidiam o planejamento, a priorização de ações de controle e a avaliação da efetividade das medidas de gestão ambiental implantadas.

4.4. PRAIAS INTERIORES

A Balneabilidade de Praias Interiores, que foca nas condições da água para recreação da população com contato primário/banho, conforme o estabelecido

na [Resolução CONAMA nº 274/2000](#). A Figura 15 apresenta algumas praias interiores monitoradas pela CETESB:

Figura 15 – Exemplos de pontos de coleta em Praias Interiores



Do ponto de vista sanitário, a principal relevância das análises está na detecção de organismos indicadores de contaminação fecal, como *Escherichia coli* e Enterococos, que permitem inferir a presença de patógenos capazes de causar doenças de veiculação hídrica, incluindo gastroenterites, hepatites virais, dermatites, otites e infecções respiratórias. Ao classificar um local como próprio ou impróprio para banho, essas análises contribuem diretamente para a prevenção de surtos e reduzem a exposição da população a riscos biológicos.

4.4.1. Metodologia de Amostragem

A amostragem também segue o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA; CETESB, 2023). As amostras de água para balneabilidade

devem preferencialmente serem coletadas em profundidade aproximada de 1 m, que representa a seção no corpo de água mais utilizada para a recreação.

4.4.2. Frequência de Monitoramento

As praias interiores possuem frequência de amostragem semanal, prioritariamente nos dias de maior afluência do público às praias. Entretanto, para aquelas classificadas como sistematicamente boas, a coleta é realizada mensalmente, para verificar a manutenção dessa condição.

4.4.1. Variáveis da Rede de Praias Interiores

A avaliação da balneabilidade de praias interiores da CETESB baseia-se predominantemente na utilização da bactéria *Escherichia coli*, como indicador microbiológico.

Ressalta-se que as variáveis *Enterococos* e Coliformes Termotolerantes também estão previstas na legislação como potenciais indicadores de balneabilidade, representando alternativas metodológicas para essa avaliação.

4.4.2. IB - Índice de Balneabilidade

O Índice de Balneabilidade (IB) visa classificar as praias com vistas à qualidade da água para recreação de contato primário, sendo aplicado em praias de águas interiores, localizadas em rios e reservatórios. Esse índice baseia-se na porcentagem de tempo que a praia permaneceu própria ao longo do ano (Tabela 7).

Tabela 7 – Categorias e faixas de classificação do Índice de Balneabilidade (IB)

Categoria	Classificação de Praias Semanais	Classificação de Praias Mensais
-----------	----------------------------------	---------------------------------

ÓTIMA	Praias classificadas como EXCELENTES* em 100% do tempo.	Concentração até 150 UFC/100mL em pelo menos 80% do ano
BOA	Praias próprias em 100% do tempo, exceto as classificadas como ÓTIMA	Concentração superior a 600 UFC/100mL em até 20% do ano
REGULAR	Praias classificadas como IMPRÓPRIAS em até 25% do tempo.	Concentração superior a 600 UFC/100mL de 20% a 30% do ano
RUIM	Praias classificadas como IMPRÓPRIAS entre 25% e 50% do tempo.	Concentração superior a 600 UFC/100mL de 30% a 50% do ano
PÉSSIMA	Praias classificadas como IMPRÓPRIAS em mais de 50% do tempo.	Concentração superior a 600 UFC/100mL em mais de 50% do ano

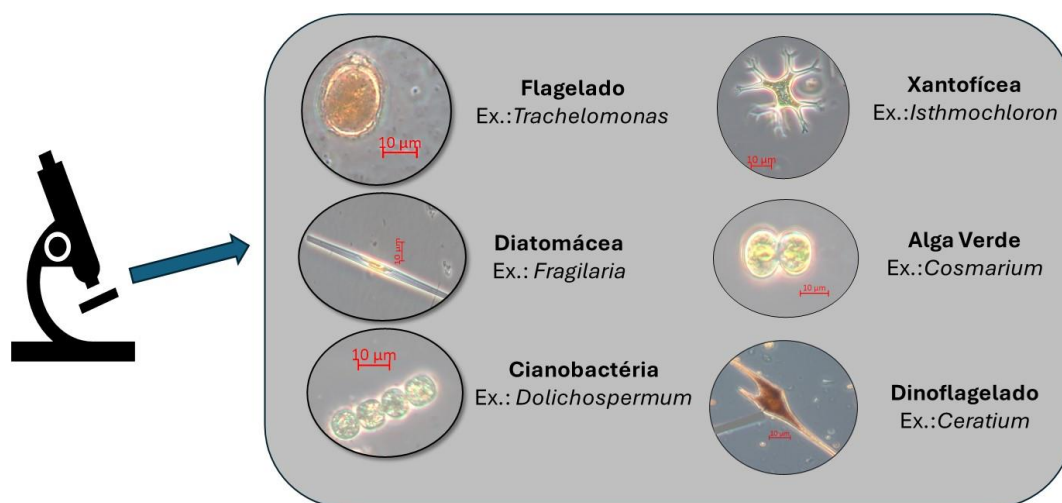
*Excelentes: praias com *E. coli* no máximo de 150 UFC/100mL em 80% ou mais tempo na classificação semanal

A metodologia para classificação semanal e mensal das praias e do IB, incluindo os demais indicadores microbiológicos, consta o Apêndice C

4.4.3. Comunidade Fitoplanctônica para fins de balneabilidade

A Balneabilidade pode ser afetada por inúmeros parâmetros, sendo a composição e densidade da comunidade fitoplanctônica dois deles. Essa comunidade é formada por organismos microscópicos fotossintetizantes que flutuam na camada fótica, de diferentes tamanhos, formas e fisiologias, distribuídos em grandes grupos: Algas Verdes, Diatomáceas, Fitoflagelados, Xantofíceas, Dinoflagelados e Cianobactérias (Figura 16) renumerar Figuras.

Figura 16 - Ilustração com representantes dos principais grupos de organismos que compõe o Fitoplâncton



As cianobactérias são as mais importantes para a balneabilidade, pois são organismos cosmopolitas, potencialmente produtores de cianotoxinas, muito eficientes em ambientes eutrofizados (ricos em nutrientes), podendo proliferar de maneira rápida, levando a elevadas densidades, configurando eventos conhecidos como *blooms* ou florações. Diante dessa situação, e dependendo do gênero dominante, podem ocorrer alterações na coloração da água e a presença de gosto e odor desagradáveis.

É importante destacar que nem todas as florações de cianobactérias causam alteração na cor e no odor da água. Florações de *Raphidiopsis*, por exemplo, não deixam a água verde e com grumos ou natas, como ocorre em florações de *Microcystis*. Assim sendo, o monitoramento de áreas em que existe a possibilidade de ocorrer esse tipo de evento é muito importante.

No Brasil não há uma regulação específica que estabeleça níveis de alerta para águas destinadas à recreação. No entanto, a presença de floração de algas ou cianobactérias com formação de nata podem tornar imprópria ou interditar trechos de praias ou balneários, segundo a Resolução CONAMA nº 274/2000, que define os critérios de balneabilidade. Além disso, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece padrões de qualidade para o Número de Células de Cianobactérias para águas doces destinadas a recreação de contato primário,

ou secundário, conforme a classe de enquadramento. A legislação disponível encontra-se no Quadro 1.

Quadro 1 - Legislação disponível no Brasil

Legislação		Definições	Especificações
Resolução CONAMA 274/2000	nº	Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras.	As águas serão consideradas impróprias quando, no trecho avaliado, for verificada a ocorrência de floração de algas ou outros organismos, até que se comprove que não oferecem riscos à saúde humana. Trechos de praias ou balneários poderão ser interditados quando houver ocorrência de toxicidade ou formação de nata decorrente de floração de algas.
Resolução CONAMA 357/2005	nº	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.	Limite de Células de Cianobactérias por Classe: Classe 1 – água destinada à recreação de contato primário – 20.000 céls/mL; Classe 2 – água destinada à recreação de contato primário – 50.000 céls/mL; Classe 3 – água destinada à recreação de contato secundário - 100.000 céls/mL.

Legenda: CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente.

As cianobactérias são capazes de produzir metabólitos secundários como as cianotoxinas, substâncias que podem causar efeitos adversos em humanos e outros animais que entrem em contato com a água contaminada com essas toxinas. Quando há exposição de banhistas a florações de cianobactérias e suas cianotoxinas durante atividades recreativas, por exemplo, eles podem apresentar sintomas como febre e erupções cutâneas, além de problemas respiratórios e gastrointestinais.

Assim, quando densidades elevadas de células de cianobactérias são observadas, deve-se evitar atividades de recreação de contato primário no local, além do contato por animais domésticos, de pecuária e silvestres.

As principais cianotoxinas presentes em águas continentais são apresentadas no Quadro 2, com informações mais relevantes sobre os gêneros potencialmente produtores e sintomas de exposição.

Quadro 2 - Cianotoxinas, gêneros/espécies potencialmente produtoras e sintomas de exposição

Cianotoxinas e Lipopolissacarídeo	Gêneros/Espécies Produtoras	Sintomas de exposição
Microcistina	Dolichospermum, Anabaenopsis, Aphanizomenon, Aphanocapsa, Arthrospira, Calothrix, Gloeotrichia, Hapalosiphon, Microcystis, Nostoc, Oscillatoria, Phormidium, Planktothrix, Pseudanabaena, Raphidiopsis, Synechococcus, Woronichinia	Dor abdominal, dor de cabeça, dor de garganta, vômitos e náuseas, tosse seca, diarreia, bolhas ao redor da boca e pneumonia
Saxitoxina	Dolichospermum, Aphanizomenon, Raphidiopsis, Lyngbya, Oscillatoria, Planktothrix	Em humanos, a maioria dos sintomas são provenientes da ingestão de mariscos contaminados como: tontura, adormecimento da boca e de extremidades, fraqueza muscular, náusea, vômito, sede e taquicardia
Cilindrospermopsina	Raphidiopsis, Aphanizomenon, Umezakia, Dolichospermum e Lyngbya wollei, Oscillatoria	Febre, dor de cabeça, vômito, diarreia sanguinolenta
Lipopolissacarídeo de membrana	Integra as membranas de todas as Cianobactérias	Vermelhidão na pele e mucosas, irritação nos olhos, coceira, conjuntivite.

Fontes: <https://www.epa.gov/cyanohabs/health-effects-cyanotoxins>. Acesso em 03.05.2023. Chorus & Welker (2021). Paerl & Otten (2013).

Embora ainda exista uma discussão sobre os níveis que seriam seguros de exposição às diferentes cianotoxinas, a Organização Mundial de Saúde (OMS) apresenta valores guia para concentração das cianotoxinas mais comuns em águas destinadas à recreação de contato primário (Quadro 3). Alguns desses

valores ainda são considerados provisórios, mas integram um plano de monitoramento com níveis de alerta e medidas de prevenção, com orientação aos usuários e autoridades envolvidas.

Quadro 3 - Cianotoxinas e valores de referência para águas de recreação segundo a OMS

Cianotoxinas	Valor de Referência
Microcistina (MC) - LR	24 µg/L
Saxitoxina (STX)	30 µg/L
Cilindrospermopsina (CYN)	6 µg/L

Fonte: Chorus e Welker (2021).

Os gêneros mais importantes em termos de densidade celular encontrados no monitoramento da CETESB, como *Dolichospermum*, *Aphanizomenon*, *Aphanocapsa*, *Microcystis*, *Planktothrix*, *Pseudanabaena*, *Raphidiopsis* e *Woronichinia*, e sua potencial produção de cianotoxinas estão descritos no Item 4.2.4.5.1.1- **Comunidade Fitoplanctônica**.

4.4.4. Divulgação dos resultados

Os boletins semanais de balneabilidade das Praias Interiores são disponibilizados na página da CETESB <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/boletim-semanal/>> e a classificação pode ser acompanhada pelo Mapa de Qualidade das Praias Interiores <<https://arcgis.cetesb.sp.gov.br/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=5caf462c81a04896baf8f3916121b8ff>>

4.5. REDE DE SEDIMENTO

O sedimento é um compartimento que tem sido cada vez mais utilizado em estudos de avaliação da qualidade de ecossistemas aquáticos, por ser considerado um sítio integrador, que apresenta a propriedade de estocar nutrientes, metais e substâncias orgânicas, e redistribuir estas espécies químicas à biota aquática ou mesmo à coluna d'água.

Os sedimentos têm influência direta na qualidade das águas, uma vez que neles há um reprocessamento de materiais, podendo haver liberação de contaminantes e outros compostos para a coluna d'água. Desta forma, os sedimentos são considerados depósitos de contaminantes antropogênicos e também fonte de poluição para os organismos de fundo e para a coluna d'água (Burgess & Scott, 1992).

A presença de contaminantes no sedimento potencializa a transferência destes para a coluna de água. Essa mobilização de contaminantes da fase sólida para a dissolvida pode ocorrer pelo revolvimento do sedimento, por exemplo, em virtude do aumento da vazão e das chuvas ou por atividades que interfiram com o leito do rio, como dragagens (seja de desassoreamento ou aprofundamento da calha), passagem de dutos, construção de pilares de sustentação de pontes, dentre outras atividades.

Nos estudos sobre a avaliação da qualidade dos ecossistemas aquáticos, o sedimento retrata as condições históricas da influência antrópica, nem sempre detectáveis pelo monitoramento das variáveis de água.

Dessa forma, em 2002, iniciou-se a operação da rede de monitoramento de sedimentos.

4.5.1. Metodologia de Amostragem

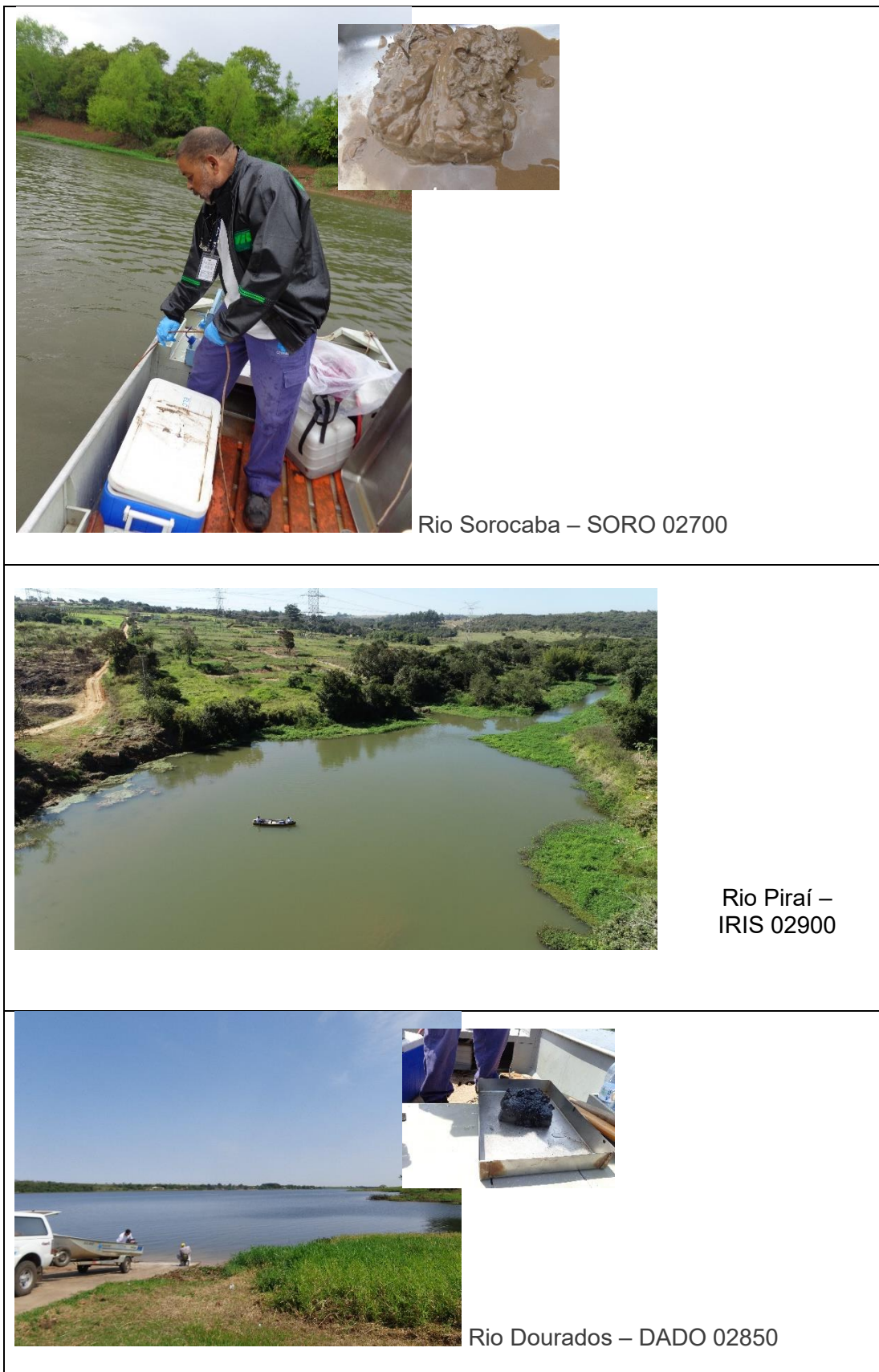
A amostragem também segue o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA; CETESB, 2023).

Em cada ponto são coletadas três réplicas (R1, R2 e R3), com um deslocamento de aproximadamente 250m entre cada uma delas, ao longo do eixo longitudinal de maior profundidade, em reservatórios e em 3 margens deposicionais em rios. Dependendo da variável a ser analisada as amostras de sedimentos podem ter natureza simples, em 3 réplicas separadas ou em 3 réplicas compostas:

- Simples (só em R1, sem deslocamento, com as pegadas necessárias para o preenchimento dos frascos): microbiológicos, pH e Potencial Redox em sedimento, uma vez que se espera pouca variação no ponto de coleta e a manipulação das réplicas pode interferir nos resultados dessas variáveis.
- Réplicas (R1, R2 e R3, mantidas separadas): granulometria, sólidos – total, fixo e volátil, umidade e, quando prevista, a avaliação da comunidade bentônica. Essas variáveis possuem heterogeneidade espacial, descrita pelo cálculo do desvio padrão.
- Composta (R1, R2 e R3, misturando-se homogeneamente volumes iguais de coletas em cada um destes locais para posterior preenchimento dos frascos): contaminantes, nutrientes, toxicologia, ecotoxicologia, granulometria, sólidos e umidade. Essa estratégia de coleta normalmente está associada a limitações de análise nos laboratórios e seus resultados podem ser interpretados como uma média encontrada naquele local.

A Figura 17 ilustra algumas coletas da Rede de Sedimento.

Figura 17 - Exemplos de coleta da Rede de Sedimento



4.5.1. Frequência de Monitoramento

Por ser uma matriz estável, a frequência de amostragem de sedimento é anual, ou em intervalos maiores. Sinteticamente, considera-se como orientação que cada ponto seja amostrado até que se estabeleça um diagnóstico — normalmente em dois ou três anos — e que, após um intervalo maior, haja retorno para verificar eventuais alterações. Essa prática, contudo, não é uma regra fixa e pode variar conforme as demandas do monitoramento. Os pontos que apresentam problemas recorrentes, ou requerem acompanhamento intensivo e de longo prazo, são amostrados com uma frequência maior.

Os pontos identificados como “frequentes”, formam um núcleo de locais que já foram sistematicamente amostrados por mais de 10 vezes nos últimos anos e que tiveram o conjunto completo de indicadores realizados ao menos 3 vezes. Os descritos como “consolidados”, indicam mais de 15 coletas com 5 conjuntos completos de indicadores.

As coletas são realizadas prioritariamente no período de estiagem (abril a setembro), evitando períodos de maiores precipitações pluviométricas e de estratificação térmica, o que permite, em tese, a amostragem de material já depositado e mais estabilizado no leito.

4.5.2. Variáveis da Rede de Sedimento

A Tabela 8 descreve as variáveis de qualidade físicas, químicas, hidrobiológicas e toxicológicas determinadas pela CETESB em amostras de sedimento em 2024.

Tabela 8 – Variáveis de qualidade da Rede de Sedimento.

Monitoramento	Grupo	Variáveis
Rede de Sedimento	Físicos	Granulometria (Areia, Silte e Argila), Série de Sólidos (Fixos, Totais e Voláteis), Umidade, Potencial Redox
	Químicos	a) Inorgânicas: Alumínio, Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cobre, Crômio, Escândio, Ferro, Fósforo, Manganês, Mercúrio, Níquel, Nitrogênio Kjeldahl e Zinco. b) Orgânicas: Bifenilas Policloradas (PCB's), Carbono Orgânico Total, Dioxinas e Furanos, Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (Semi-COVs), Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), Compostos Orgânicos Voláteis e Aromáticos (BTEX), Difenil Éter Polibromados (PBDE), Dioxin-Like PCB's, Herbicidas, Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs); Pesticidas Organoclorados, Pesticidas Organofosforados.
	Microbiológicos	Escherichia coli e Clostridium perfringens
	Hidrobiológicos	Comunidade Bentônica
	Toxicológicas	Ensaio de Toxicidade Aguda com a bactéria luminescente <i>Vibrio fischeri</i> (Sistema Microtox); Ensaio de Toxicidade Aguda/Subletal com o anfípodo <i>Hyalella azteca</i> , Ensaio de Toxicidade Aguda/Subletal com <i>Chironomus sancticarioli</i> , Deformidade em mento de <i>Chironomus sp.</i> ,
	Testes de Mutagenicidade	Teste de <i>Salmonella</i> /microsoma (Teste de Ames)

4.5.2.1. Granulometria

Os sedimentos em ambientes hídricos podem ser classificados de acordo com os diferentes diâmetros de grãos, variando entre um sedimento mais grosso, arenoso, com baixa capacidade de retenção de contaminantes e nutrientes, e o mais fino, argiloso, com alta capacidade de retenção de contaminantes e nutrientes.

Em geral, ambientes lóticos, pela dinâmica de suas águas, tendem a ter substratos mais grossos, estando os mais finos restritos às margens de deposição, nem sempre disponíveis nos trechos investigados, por outro lado, todos os ambientes lênticos apresentaram sedimentos mais finos, com características físicas propícias ao acúmulo de contaminantes e nutrientes.

4.5.2.1. Teor de Matéria Orgânica

Uma característica importante dos sedimentos, associada a retenção de nutrientes e contaminantes, especialmente os orgânicos, é o teor de matéria orgânica, que define a matriz como orgânica (com fração de Sólidos Voláteis superior a 10%) ou inorgânica (ESTEVES, 2011). Contaminantes provenientes de descargas industriais e domésticas quando liberados na água, podem ser adsorvidos ou ligar-se ao material particulado e, dependendo das características do corpo de água, depositam-se e podem se tornar parte do sedimento de fundo desses ambientes (Viganò et al, 2003). Da mesma forma que a correnteza dificulta o acúmulo de grânulos finos nos sedimentos de ambientes lóticos, também o faz para a matéria orgânica.

Analisa-se também Carbono Orgânico Total e Nitrogênio Kjeldahl que, juntamente com o Fósforo Total, avaliam a sua qualidade biogeoquímica, notadamente a carga interna de nutrientes e a condição de eutrofização desses corpos de água.

4.5.2.2. Ensaios ecotoxicológicos

Testes de toxicidade permitem avaliar efeitos interativos de misturas complexas presentes no sedimento sobre os organismos aquáticos. Estes testes medem, portanto, os efeitos tóxicos das frações biodisponíveis presentes nos sedimentos, em condições controladas de laboratório ou através de testes em campo. Desta forma, o resultado do teste de toxicidade é útil para o estabelecimento de concentrações aceitáveis de contaminantes que podem estar presentes no sedimento, isto é, concentrações em que não são esperados efeitos para os organismos bentônicos.

4.5.2.1. Perfis Sedimentares

Os perfis sedimentares são uma excelente ferramenta de gestão no sentido de permitir a comparação das concentrações dos elementos dos sedimentos superficiais (as camadas superiores do sedimento, ou seja, a sedimentação mais recente) com os sedimentos mais antigos, chegando até à época de formação do reservatório. Para tanto, além da visualização das concentrações nos perfis, a utilização de uma ferramenta geoquímica associada aos valores basais dos perfis sedimentares propicia uma melhor forma de distinção entre as concentrações geogênicas e as antrópicas.

Os perfis de sedimento são coletados com amostrador tipo piston core, de gravidade e martetele, com um tubo de acrílico de 6,0 cm de diâmetro e até 100 cm de comprimento.

Durante suas coletas, é necessário buscar o leito do rio formador do reservatório. Isto é possível graças aos ecobatímetros disponíveis nas lanchas utilizadas em campo que permitem realizar uma “varredura” no fundo do reservatório e descobrir onde está o local mais profundo deste. Sendo visível no instrumento um “vale” mais profundo, este provavelmente será o leito original do rio formador do reservatório.

Uma vez coletado o perfil, ele é fatiado ainda dentro da embarcação a cada 2,0 (ou 2,5) cm com o auxílio de um extrusor, no sentido do topo do perfil para a base, e acondicionados em sacos plásticos tipo “zip” devidamente identificados.

São determinados os elementos Al, Fe, Mn, Cr, Cu, Cd, Pb, As, Hg, Sc e Zn, e análise granulométrica em cada fração do perfil.

O fator de enriquecimento (ou “Enrichment Factor” - EF) é um índice que permite avaliar o enriquecimento de um elemento através da normalização por outro elemento considerado mais estável e imóvel no ambiente. Foi proposto em 1979 por Buat-Menard (Loska et al. (1997, 2003 e 2004); Szefer e Skwarzec (1988)) e já foi aplicado em diversas partes do mundo para fins de avaliar o enriquecimento antrópico de determinados elementos. A fórmula utilizada para cálculo está na equação 1.

$$EF = \frac{(Me/X)_{loc}}{(Me/X)_{ref}} \quad (1)$$

Onde

EF – fator de enriquecimento

Me – Concentração do metal ou elemento de interesse.

X – Concentração do metal ou elemento normalizador.

Loc – Local avaliado

Ref – Valores de referência utilizado.

Como elemento normalizador, podem ser utilizados vários elementos tais como Sc, Fe, Al, Mn, Ti, Y e Li (Loska et al., 2003; Sutherland, 2000; Lin et al., 2008; Dias e Prudêncio, 2008; Hernandez et al., 2003) e são desejáveis as seguintes características para um elemento normalizador;

- Deve ser assumido como tendo um fluxo crosta-rocha uniforme e amplo (Audry et al., 2004; Sutherland, 2000).
- Não deve sofrer ações de sinergismo ou antagonismo com outros elementos, ser quantificado facilmente e presente em concentrações traço (Loska et al. 1997).
- Não apresentar fontes potenciais de contaminação e ser de origem exclusivamente litogênica (Cukrov, 2011; Lin et al. 2008, Rubio et al., 2000; Hernandez et al., 2003).
- Deve ser estável e não sujeitos a influências ambientais, como redução/oxidação, adsorção/dessorção, e outros processos de diagênese e intemperismo, permanecendo em superfície e não sendo carregado por lixiviação (Lin et al., 2008; Dias e Prudêncio, 2008)

- Deve ser escolhido por características geoquímicas, e não estatísticas (Dias e Prudêncio, 2008).

Em relação aos valores de referência que devem ser utilizados na equação do EF, estes devem representar a concentração basal do elemento, pois este é princípio do EF, a comparação do local avaliado com um local não impactado ou considerado natural. Diversos autores (Duan et al., 2010; Fernandes et al., 2011; Hernandez et al., 2003; Lin et al., 2008; Loska et al., 1997 e 2003; Szefer et al., 1998;) utilizaram como referência os valores médios da crosta terrestre trabalhados por Wedepohl (1995).

Entretanto, outros autores (Blaser et al., 2000; Gomes et al., 2009; Hernandez et al., 2003; Rubio et al., 2000; Sutherland, 2000; Franklin et al. 2016) citam que o ideal é realizar esta avaliação com valores de background ou referências locais, visto que desta forma as diferenças litológicas da região são compensadas e os valores obtidos para EF serão mais realistas, visando a busca de elementos que apresentem enriquecimento antrópico. Loska et al. (1997) menciona ainda que para reservatórios artificiais, esta forma é a mais adequada e Audry et al. (2004) indica que os melhores resultados para os reservatórios nos quais trabalharam foram obtidos desta forma, devido a dificuldade de se obter relações metal/elemento normalizador confiáveis para o local, por conta dos fatores litológicos e de intemperismo.

Como critério de avaliação do enriquecimento, alguns autores aceitam que valores entre $\leq 0,5$ EF $\leq 1,5$ indicam que o elemento não é enriquecido, enquanto que valores $\geq 1,5$ já significam um enriquecimento do elemento em questão (Zhang e Liu, 2002). Entretanto, para Hernandez et al. (2003), apenas quando os valores de EF são maiores que 2,0 é que se pode considerar que o elemento possui origem antrópica no local avaliado.

Sutherland (2000), após justificar a ausência ou falta de critérios para definir um grau de poluição fundamentado para o EF, propôs cinco categorias de enriquecimento, conforme Tabela 9.

Tabela 9 - Categorias para enquadramento do EF (Sutherland, 2000).

Categorias	Descrição
EF < 2	Depleção ou baixo enriquecimento

EF entre 2 e 5	Enriquecimento moderado
EF entre 5 e 20	Enriquecimento significativo
EF entre 20 e 40	Enriquecimento muito alto
EF > 40	Enriquecimento extremamente alto

A CETESB optou por adotar o escândio como elemento normalizador para o cálculo do Fe em seus perfis sedimentares.

Para avaliação dos resultados dos perfis, além do fator de enriquecimento, a CETESB também utiliza as correlações que podem ser estabelecidas entre os elementos e os grupamentos (análise de cluster) que estes possam eventualmente formar ao longo do perfil sedimentar.

4.5.3. Avaliação dos Resultados

4.5.3.1. CQS – Critério de Qualidade dos Sedimentos

Desde 2002 a CETESB avalia a qualidade dos sedimentos de corpos de água límnicos do estado de São Paulo, a partir do estabelecimento de critérios de qualidade para diferentes linhas de evidência. Iniciada com quatro linhas de evidência, a avaliação da qualidade dos sedimentos atualmente compõe-se de até oito, que incluem análises dos componentes químico, toxicológico e biológico deste compartimento.

Dessa forma, o Critério de Qualidade dos Sedimentos - CQS classifica o sedimento em categorias de acordo com linhas de evidência. As três principais são: Contaminação Química, Comunidade Bentônica e Toxicidade, este último incluindo teste de toxicidade com *Hyallela azteca*.

As linhas de evidência são complementadas de forma a obter um diagnóstico mais detalhado. Assim a linha de evidência de toxicidade é complementada pelo

ensaio ecotoxicológico com *Chironomus sancticarloi*, teste de Toxicidade Aguda (Microtox®) e frequência de deformidade.

O diagnóstico químico é complementado pelo ensaio de Salmonella/microsossoma (Teste de Ames) e análise do Fósforo Total, que avalia a extensão do grau de eutrofização dos corpos hídricos.

Acrescenta-se ainda a análise microbiológica (*Clostridium perfringens* e *Escherichia coli*), para identificar as potenciais fontes de contaminação por esgotos nas bacias.

Figura 18 – Resumo das linhas de evidência para o diagnóstico de qualidade dos sedimentos



Os critérios completos utilizados no diagnóstico são detalhados no Apêndice C.

4.5.3.1.1. Comparação com valores de referência (TEL e PEL)

As concentrações dos contaminantes orgânicos e inorgânicos são comparadas com os limites em que há baixa (TEL) e alta (PEL)¹ probabilidade de ocorrência de efeitos adversos à biota aquática, segundo os valores guias estabelecidos pelo “Canadian Council of Ministers of the Environment” (CCME, 2001).

O menor limite (TEL) representa a concentração abaixo da qual raramente são esperados efeitos adversos para os organismos. O maior limite (PEL) representa a concentração acima da qual é frequentemente esperado o citado efeito adverso para os organismos. Na faixa entre TEL e PEL situam-se os valores onde ocasionalmente espera-se tais efeitos.

A adoção desses valores teve caráter meramente orientativo na busca de evidências da presença de contaminantes em concentrações capazes de causar efeitos deletérios, sobretudo com relação à toxicidade para a biota.

Alguns elementos em concentrações iguais ou acima de TEL ou PEL podem estar associadas ao tipo de solo da região geológica em que a bacia hidrográfica está inserida, mas, ainda assim, causar efeito, especialmente em ensaios de laboratório.

4.5.3.2. Origem natural ou antrópica dos elementos

A origem natural, ou não, desses elementos foi inferida por estudos existentes de perfil sedimentar e informações sobre a formação geológica regional, por meio do cálculo do fator de enriquecimento. Nos locais onde estudos de perfil sedimentar não foram realizados, foram utilizados como referência dados das características do solo de regiões próximas. É preciso ressaltar, que atividades antrópicas, como o desmatamento e a mineração, expõem elementos abundantes na composição original de determinados tipos de solo ao transporte, por escoamento superficial, para o ambiente aquático, muitas vezes em concentrações superiores às que a biota local pode estar adaptada, impactando-a.

¹ TEL - Threshold Effect Level
PEL - Probable Effect Level

4.5.4. Divulgação dos Resultados

Anualmente é publicado o Relatório de Qualidade das Águas Interiores, documento que reúne de forma sistematizada os resultados do monitoramento e sua interpretação. Os relatórios estão disponíveis na página da CETESB < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>>.

5. MORTANDADE DE PEIXES

Um evento de mortandade de peixes indica um ponto extremo de pressão no corpo de água, podendo incluir a morte de diversas espécies, além de outros organismos. As mortandades estão normalmente associadas a alterações da qualidade da água e, embora nem sempre seja possível identificar suas causas, o seu registro consiste em um bom indicador da suscetibilidade do corpo hídrico em relação às fontes de poluição nas respectivas UGRHI.

A CETESB realiza atendimento a ocorrências de mortandades de peixes por meio das Agências Ambientais e do Setor de Comunidades Aquáticas.

A compilação e interpretação dos eventos de mortandade são disponibilizados no Relatório de Qualidade das Águas Interiores (<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>>).

6. HIDROLOGIA

A abordagem metodológica fundamenta-se no tratamento sistemático de dados pluviométricos provenientes de extensa rede de postos de monitoramento, abrangendo diferentes instituições geradoras e regiões do Estado. Os resultados desse processamento são apresentados por meio de gráficos e mapas temáticos

que evidenciam a variabilidade mensal, anual e espacial das chuvas, tanto em escala estadual quanto por UGRHI.

6.1. Base de dados pluviométricos

A análise da precipitação é realizada a partir de dados registrados pelos postos pluviométricos distribuídos no território paulista. Atualmente, dos 2043 postos, 1.329 apresentaram dados ativos no último ano. Os dados utilizados provêm de diferentes instituições responsáveis pela operação e manutenção dos postos, garantindo ampla cobertura espacial e diversidade de fontes.

As instituições fornecedoras dos dados pluviométricos considerados neste estudo foram:

- Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN);
- Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO);
- Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE);
- Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A. (EMAE);
- Eletrobras Furnas (FURNAS);
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET);
- Light S.A. (LIGHT);
- Prefeitura Municipal de São Paulo – Comissão Municipal de Defesa Civil (PMSP-COMDEC);
- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

6.2. Cálculo das precipitações médias

As precipitações médias mensais e anuais são calculadas inicialmente para cada UGRHI, por meio da média aritmética dos valores registrados nos postos pluviométricos localizados dentro de sua área de abrangência. Posteriormente, para a obtenção das médias estaduais, adotou-se a média ponderada pela área territorial de cada UGRHI, garantindo maior representatividade das bacias de maior extensão territorial. Esse procedimento metodológico fundamenta a geração dos gráficos temporais de precipitação média estadual, assegurando

consistência na comparação entre o ano avaliado e a série histórica de referência.

Ressalta-se que, para os postos pluviométricos que apresentaram falhas nas séries mensais de dados, como ausência de registros diários ou inconsistências que comprometessem o cálculo do total mensal de precipitação, os respectivos valores mensais não foram considerados nos cálculos das precipitações médias das UGRHs. Esse critério metodológico visa assegurar a consistência e a comparabilidade dos resultados, evitando a introdução de vieses decorrentes de totais mensais subestimados, mantendo, assim, a confiabilidade das médias mensais e anuais obtidas.

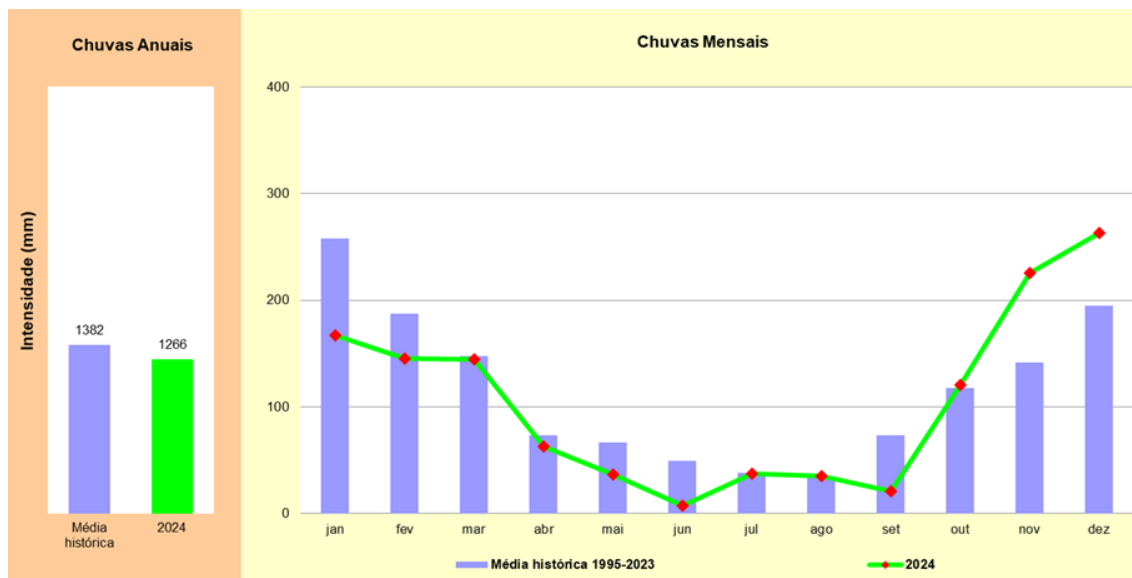
6.3. Análise temporal da precipitação

6.3.1. Análise temporal da precipitação para o Estado de São Paulo

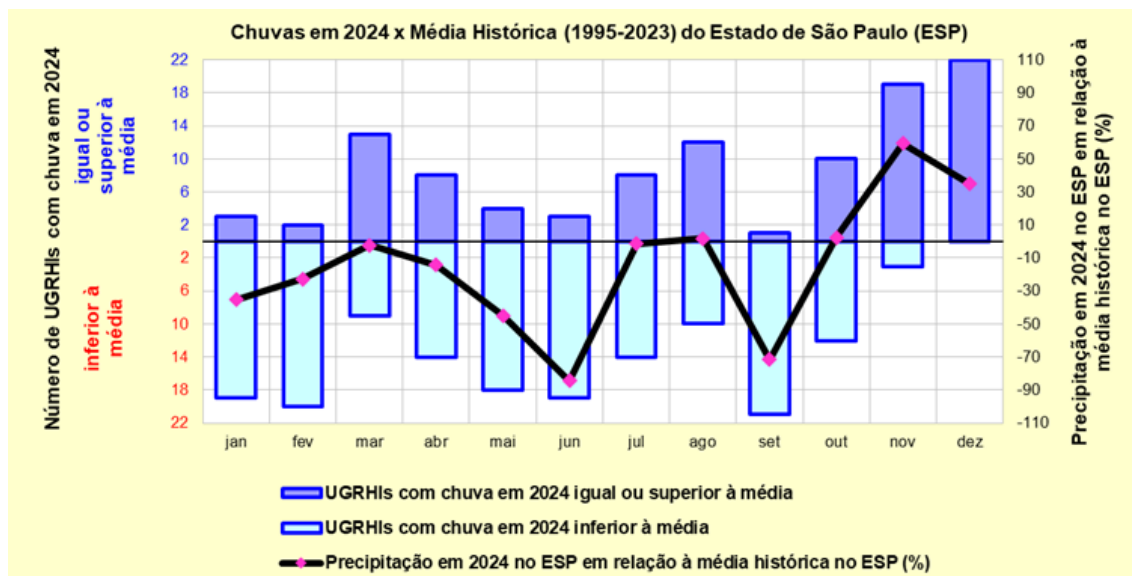
A análise temporal da precipitação em escala estadual é realizada por meio da comparação entre os volumes médios mensais e o acumulado anual observados no ano de referência e as respectivas médias históricas, calculadas a partir dos dados de 1995.

Para tanto, as precipitações mensais médias do Estado, obtidas a partir da média ponderada pela área das UGRHs, são representadas graficamente, conforme exemplo de ano de 2024 (Gráfico 1), permitindo avaliar a distribuição intra-anual das chuvas, identificar a sazonalidade típica dos períodos seco e chuvoso e quantificar os desvios em relação ao comportamento histórico. Essa ilustração sintetiza a variabilidade mensal das precipitações e o volume anual acumulado do estado.

Gráfico 1 – Intensidades de chuva mensais e anual no Estado de São Paulo



Com vistas a aprofundar a análise temporal e incorporar a dimensão espacial do comportamento pluviométrico, procede-se à avaliação conjunta da precipitação mensal nas 22 UGRHs, por meio da comparação dos volumes observados com a média histórica estadual. Nessa abordagem, são quantificadas, para cada mês, tanto a variação percentual da intensidade pluviométrica estadual quanto o número de UGRHs que registraram precipitações acima e abaixo dessa média. Essa análise permite identificar a extensão territorial dos déficits ou superávits de chuva ao longo do ano, evidenciando meses com predominância regional de condições mais secas ou mais úmidas. Como exemplo dos resultados dessa etapa, o Gráfico 2 integra essas informações de forma conjunta.

Gráfico 2 – Chuvas nas UGRHIs em relação à média histórica do Estado de São Paulo

6.3.2. Análise temporal da precipitação por UGRHI

A análise da precipitação em escala regional foi aprofundada por meio da avaliação temporal individualizada das 22 UGRHIs. Para cada unidade, foram analisados os volumes mensais e o total anual de precipitação registrados em 2024, comparando-os às respectivas médias históricas de cada bacia.

Os resultados desta etapa são sistematizados por UGRHI, com detalhamento dos volumes mensais e anuais de chuva observados e sua relação com as séries históricas.

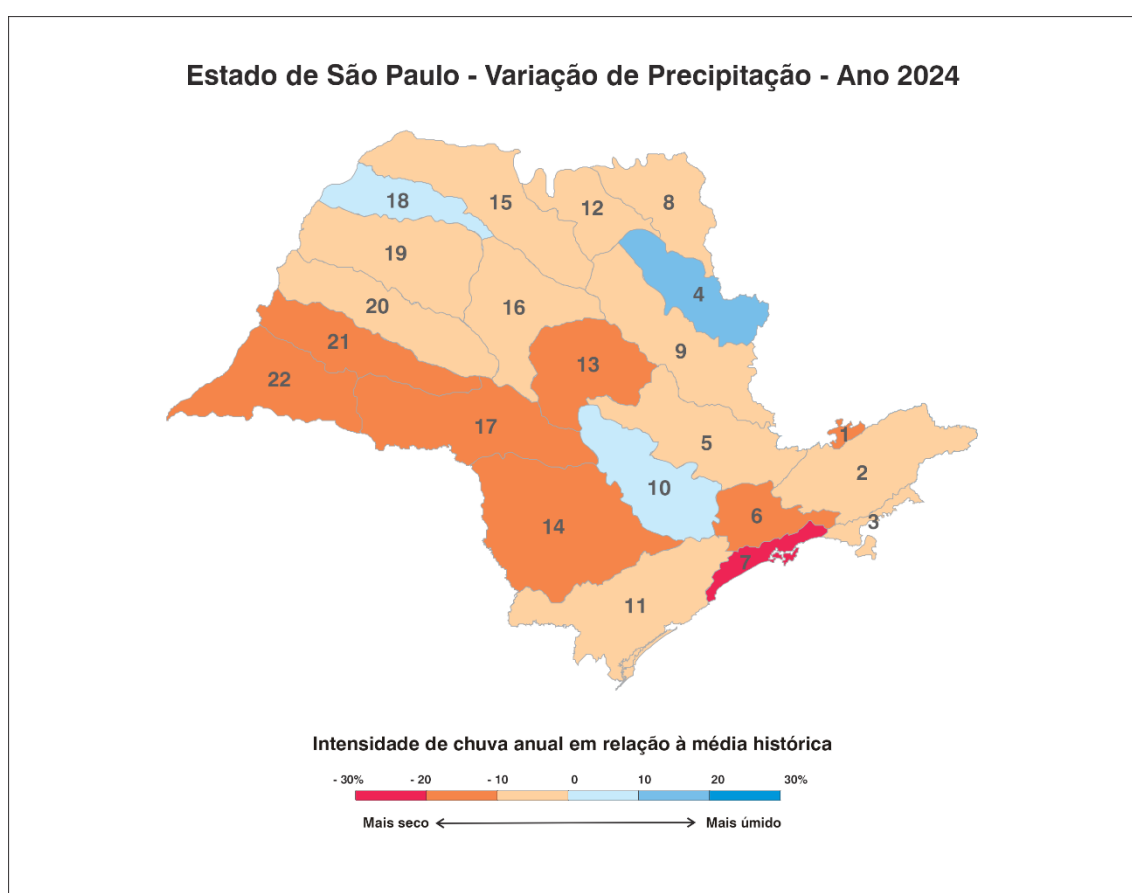
Adicionalmente, os dados processados neste subitem subsidiam a avaliação do comportamento das chuvas nas diferentes UGRHIs ao longo do ano, bem como identificar a extensão espacial dos déficits ou superávits pluviométricos em cada mês.

6.4. Representação espacial da variabilidade pluviométrica

A variabilidade espacial das precipitações é avaliada por meio da comparação entre os volumes anuais observados no período avaliado e as médias históricas específicas de cada UGRHI, considerando as séries históricas completas disponíveis para cada unidade.

A distribuição espacial dos desvios percentuais de precipitação no território paulista é apresentada por meio de figura que ilustra, para cada UGRHI, a intensidade de chuva anual em relação à média histórica, representada por faixa de cores, conforme exemplificado na Figura 19. O figura permite a identificação visual das UGRHIs com condições mais secas ou mais úmidas no período analisado, constituindo importante instrumento de síntese da análise hidrológica regional.

Figura 19 – Variação da intensidade de chuva em cada UGRHI em relação às respectivas médias históricas



Essa abordagem possibilita avaliar de forma individualizada o comportamento hidrológico de cada UGRHI, respeitando as particularidades climáticas e as extensões variáveis das séries históricas disponíveis. Ressalta-se que, em função dessas diferenças, as médias históricas adotadas para cada UGRHI podem abranger períodos temporais distintos, o que é considerado na interpretação dos resultados.



Secretaria de
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística



SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO

Acompanhe as redes sociais da CETESB:



[Site: cetesb.sp.gov.br](http://cetesb.sp.gov.br)



[Facebook: facebook.com/cetesbsp](https://facebook.com/cetesbsp)



[Linkedin: linkedin.com/company/cetesb](https://linkedin.com/company/cetesb)



[Instagram: instagram.com/cetesbsp](https://instagram.com/cetesbsp)



[SoundCloud: soundcloud.com/cetesbsp](https://soundcloud.com/cetesbsp)