



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Análise da qualidade das águas e do estado trófico de cursos hídricos afluentes ao reservatório do Lobo, Itirapina, São Paulo, Brasil

Phelipe da Silva Anjinho¹, Gabriela Leite Neves², Mariana Abibi Guimarães Araujo Barbosa³, Frederico Fabio Mauad⁴

^{1,2,3} Doutorando(a) do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Rodovia Domingos Innocentini, Km 13, Itirapina, São Paulo. (16) 3373-8253. phelipe.anjinho@usp.br, gabriela.leiteneves@usp.br, mariana.abibi@usp.br. ⁴ Professor Dr. Associado, Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Rodovia Domingos Innocentini, Km 13, Itirapina, São Paulo. (16) 3373-8253. mauadffm@sc.usp.br.

Artigo recebido em 12/08/2019 e aceito em 01/03/2020

RESUMO

As atividades humanas realizadas para promoção do desenvolvimento econômico e social alteram a quantidade e a qualidade das águas. A análise da qualidade dos ecossistemas aquáticos é importante para compreender o estado de conservação dos recursos hídricos e identificar áreas prioritárias à gestão das águas. O objetivo desse trabalho foi analisar a qualidade das águas e o estado trófico de cursos hídricos afluentes ao reservatório do Lobo, localizados na bacia hidrográfica do ribeirão do Lobo (BHRL), situada na região centro-leste do estado de São Paulo. Para tanto, foram analisados parâmetros físicos e químicos da água em 10 pontos de coleta distribuídos entre o rio Itaqueri, ribeirão do Lobo e córrego Água Branca. Os parâmetros foram analisados em duas campanhas realizadas em 2018, uma no período seco, nos meses de junho/julho, e outra no período chuvoso no mês de novembro. Os resultados dos parâmetros de qualidade da água foram comparados aos valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios classe 2. A análise dos parâmetros de qualidade da água mostra que alguns trechos dos cursos hídricos analisados não estão em conformidade com os padrões de referência estabelecidos pela Resolução. Os trechos mais críticos ocorrem no córrego Água Branca, a jusante da cidade de Itirapina, que recebe os efluentes da Estação de Tratamento de Esgoto de Itirapina, e nas regiões de nascentes do rio Itaqueri e ribeirão do Lobo, provavelmente devido às atividades agropecuárias que ocorrem no local.

Palavras-chave: recursos hídricos, qualidade da água, rio Itaqueri, reservatório do Lobo, estado trófico.

Analysis of water quality and trophic state of tributaries of the Lobo reservoir, Itirapina, Sao Paulo, Brazil

ABSTRACT

Anthropic activities performed to promote economic and social development alter the quantity and quality of water. Analysis of aquatic ecosystems quality is important to understand the state of water resources conservation and to identify priority areas for water management. The objective of this study was to evaluate the water quality and trophic state of watercourses that flow into the Lobo reservoir, located in the Lobo Stream Drainage Basin (LSDB), located in the east region of the state of São Paulo. For this, physical and chemical water parameters were analyzed in 10 sampling points distributed in the Itaqueri river, Lobo stream and Água Branca stream. The parameters were analyzed in two campaigns carried out in 2018, one in the dry period, in June and July, and another in the rainy period, in November. The results of the water quality parameters were compared with the reference values established by CONAMA Resolution 357/2005 for class 2 rivers. The results show that some sections of the analyzed watercourses do not comply with the reference standards established by the Resolution. The most critical sections occur in the Água Branca stream, downstream the city of Itirapina, which receives the effluents from the Itirapina sewage treatment plant, and in the headwaters of the Itaqueri river and Lobo streams, due to the agricultural activities that occur in this region.

Keywords: water resources, water quality, Itaqueri river, Lobo reservoir, trophic state.

Introdução

O crescimento populacional nas últimas décadas provocou o aumento das demandas de água, energia e outros recursos naturais utilizados

pelas atividades humanas. O uso intensivo dos recursos naturais para assegurar o desenvolvimento econômico e social gera consequências adversas

aos sistemas ambientais, podendo levar a alterações irreversíveis e comprometer a resiliência natural do planeta (Steffen et al., 2015).

Entre os recursos naturais mais importantes para o homem destacam-se os recursos hídricos, devido à sua importância para a manutenção da biodiversidade e por estar presente em qualquer atividade humana. (Grizzetti et al., 2016). São utilizados para diversos fins, como agricultura, abastecimento urbano, dessedentação de animais, indústria, recreação e energia, o que pode comprometer sua disponibilidade e qualidade no meio natural, caso não sejam devidamente gerenciados.

A segurança hídrica de uma sociedade se caracteriza pela garantia de água em termos quantitativos e qualitativos para atender os usos múltiplos da água e, também, para manter o funcionamento dos ecossistemas naturais, tornando-se assim um dos principais desafios socioambientais (Pahl-Wostl, 2017).

As principais alterações na qualidade das águas ocorrem em virtude das atividades antrópicas, que poluem os ecossistemas aquáticos por meio da liberação de substâncias e materiais que podem alterar as características desses ambientes, causando mudanças na sua dinâmica e funcionamento (Grizzetti et al., 2017).

Dentre as principais causas da poluição hídrica, destacam-se as atividades agropecuárias e industriais que liberam efluentes direta ou indiretamente aos corpos hídricos (Tundisi et al., 2015). Essas atividades têm causado efeitos negativos sobre os recursos hídricos. Um dos mais recorrentes é a eutrofização das águas (Le Moal et al., 2019), causada pelo enriquecimento da concentração de nutrientes, que podem chegar aos ecossistemas aquáticos por meio de formas pontuais e difusas de poluição. Os impactos oriundos da eutrofização são de natureza ambiental, econômica e social (Le Moal et al., 2019), sendo que a diminuição destes implica em grandes gastos para a recuperação dos rios, lagoas e represas.

Nesse sentido, avaliar a situação dos recursos hídricos por meio de parâmetros de qualidade da água é importante para a determinação do seu estado de conservação e para os usos múltiplos da água.

O monitoramento da qualidade das águas é um instrumento importante para o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos; permite avaliar a evolução da qualidade das águas e identificar áreas prioritárias para a gestão (CETESB, 2017). A avaliação contínua ou periódica dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água é importante para ter

conhecimento sobre as características limnológicas dos sistemas hídricos; além de possibilitar a identificação de possíveis fontes de poluição na bacia hidrográfica, pois a qualidade das águas de um curso hídrico reflete o grau de conservação de sua bacia de contribuição (Alilou et al., 2019).

No Brasil, os padrões de referência para o monitoramento das águas foram estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) N° 357 de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos de acordo com seus usos preponderantes, estabelece diretrizes ambientais para o enquadramento das águas, bem como condições e padrões de lançamento de efluentes lançados aos corpos hídricos. A conformidade com os valores de referência é um bom indicativo da qualidade de um corpo hídrico.

Dentre as muitas regiões do Brasil que apresentam problemas associados aos recursos hídricos, destaca-se o estado de São Paulo, por ser uma região economicamente desenvolvida em que se observa uma situação preocupante em relação à disponibilidade, demanda e deterioração da qualidade da água.

O reservatório do Lobo, popularmente conhecido como represa do Broa, e sua bacia hidrográfica (BHRL) são ambientes muito importantes para a região centro-leste do estado de São Paulo. A represa é internacionalmente conhecida devido às pesquisas desenvolvidas nas áreas de limnologia, ecologia e recursos hídricos.

No entanto, ao longo dos anos, verifica-se que a BHRL vem aos poucos sendo cada vez mais descaracterizada pelas atividades antrópicas, resultando em perda de qualidade ambiental. Estudos realizados na BHRL demonstram uma situação pouco benéfica no que se refere à qualidade das águas dos rios e reservatório do Lobo, que estão aos poucos sendo degradados em razão das atividades desenvolvidas na BHRL, principalmente por influência do turismo às margens da represa e pelas atividades agrícolas e urbanas que liberam agroquímicos e efluentes domésticos aos cursos hídricos. Elevações nos níveis de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, foram observados nos cursos hídricos da bacia e reservatório do Lobo (Tundisi et al. 2003; Argenton, 2004; Motheo, 2005; Delello, 2008; Sanchez, 2012; Moruzzi, 2012).

Nesse sentido, a avaliação da qualidade dos cursos hídricos afluentes ao reservatório do Lobo é importante para diagnosticar o estado de conservação de cada curso hídrico e identificar as áreas críticas e prioritárias à gestão. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi analisar a qualidade das águas e o estado trófico dos cursos hídricos

afluentes ao reservatório do Lobo, localizados na BHRL.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido na BHRL, localizada na região centro-leste do estado de São Paulo, entre os paralelos 22° 9' 30" S e 22° 20' 0" S e meridianos 47° 57' 0" W e 47° 45' 0" W, a uma distância aproximada de 230 km da cidade de São Paulo (Figura 1). A bacia ocupa uma área de 227,7 km² com densidade de drenagem de 0,75 km/km² e altitude máxima de 940 metros (Tundisi et al. 2003). Seus limites se situam no interior da Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (UGRHI 13) dos rios Tietê

e Jacaré-Guaçu, e compreende os municípios de Brotas, Itirapina e São Carlos.

Segundo a classificação de Köppen, a região possui clima quente de inverno seco (Cwa), caracterizado pelo clima tropical de altitude (CEPAGRI, 2019), com chuvas no verão e período seco no inverno, com ventos relativamente intensos, controlados pelas massas de ar equatorial e tropical. A precipitação anual na BHRL é de aproximadamente 1.500 mm. No inverno, as temperaturas variam, no mês de julho, entre 15° C e 17° C e no verão, mês de janeiro, entre 21° C e 23° C. A evapotranspiração potencial é de 500 mm a 1.000 mm por ano (Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2014).

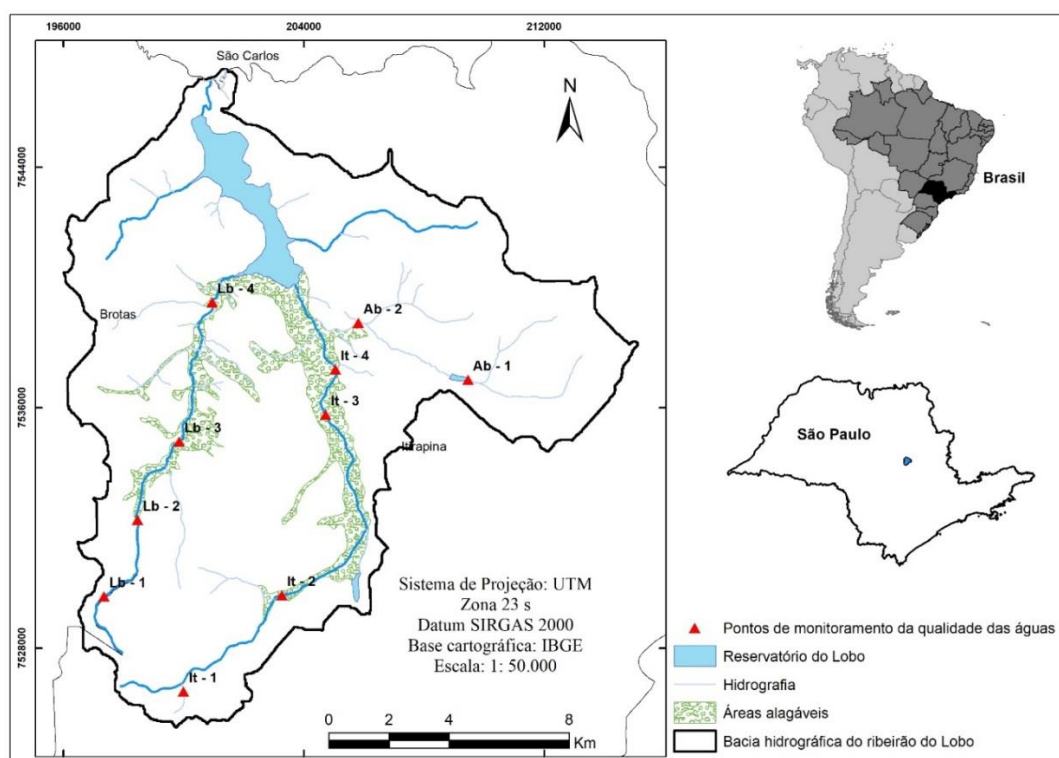


Figura 1. Localização da BHRL.

A representatividade hídrica da BHRL é composta, especialmente, por quatro rios principais, são eles: córrego do Geraldo, rio Itaqueri (com os afluentes córrego Água Branca e córrego do Limoeiro), ribeirão do Lobo e córrego das Perdizes. Todos os cursos hídricos drenam suas águas em direção ao reservatório do Lobo que, por sua vez, desagua sobre o rio Jacaré-Guaçu.

O rio Itaqueri e o ribeirão do Lobo são os principais cursos hídricos da BHRL e são responsáveis por 85% das águas que chegam ao reservatório do Lobo (Tundisi et al. 2003). O ribeirão do Lobo nasce no alto da serra na divisa dos municípios de Brotas e Itirapina, a uma altitude de aproximadamente 900 metros, percorrendo 24,6 km de extensão, desaguando no rio Jacaré-Guaçu, Anjinho, P. S.; Neves, G. L.; Barbosa, M.A.G.A.; Mauad, F.F.

entre os municípios de Itirapina e São Carlos. O rio Itaqueri nasce a uma altitude de 940 metros, percorre 20,21 km de extensão, seguindo sua rota em direção à represa do Lobo.

O reservatório de Lobo foi construído em 1936 para geração de energia elétrica e, em 1970, tornou-se uma atração turística regional (Estigoni et al., 2014). Atualmente, seus usos incluem recreação, pesquisa, geração de energia elétrica e o turismo, que envolve as atividades de pesca, banho e esportes náuticos. Segundo Estigoni et al. (2014), o reservatório de Lobo tem 6,2 km de extensão, com profundidade máxima de 14 m, profundidade média de 5,8 m, área superficial de 5,6 km² e volume de 24,3 hm³.

No que concerne à classificação das águas da BHRL, segundo a Resolução CONAMA Nº 357 /2005, os rios Itaqueri e Lobo estão enquadrados na Classe 2, cujos usos preponderantes são destinados ao abastecimento para consumo humano, após tratamentos convencionais; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aquicultura e à atividade de pesca.

Os solos da BHRL possuem uma variedade expressiva, compostos por oito tipos diferentes: os solos Hidromórficos, solos Orgânicos, Latossolos, Regossolos, solos Litólicos, Terras Roxas derivadas do basalto, solos Podzólicos e solos arenosos oriundos do quartzo (Tundisi et al. 2003). Entretanto, as classes mais representativas da BHRL são os Latossolos Vermelho-Amarelo, que são oriundos do retrabalhamento de arenitos das formações Pirambóia, Botucatu e Itaqueri, de textura média a muito argilosa, e as Areias Quartzosas, originadas a partir do retrabalhamento de rochas arenosas das formações Pirambóia e Botucatu, ocorrendo principalmente nas planícies de inundação dos ribeirões do Lobo e Itaqueri e baixadas marginais da represa.

A vegetação da BHRL é composta predominantemente por fragmentos de cerrado, com matas de galeria ao longo dos rios, e *Pinus sp* e *Eucalyptus sp* nas áreas de Reflorestamento (Tundisi et al. 2003). Considerando os fragmentos

de cerrado, a maior parte de sua área (94%) é coberta por fisionomias abertas, caracterizadas, sobretudo, por campo sujo, campo úmido, campo cerrado e campo limpo, sendo complementada por fragmentos de cerrado *sensu stricto*, florestas ribeirinhas e cerradão (IF, 2006).

A relevância natural da BHRL pode ser explicada pelas áreas naturais protegidas existentes na região. A BHRL situa-se dentro dos limites da Área de Proteção Ambiental do Corumbataí-Botucatu-Tejupá, além de incorporar a Estação Ecológica de Itirapina que desempenha um papel fundamental na preservação das fitofisionomias e do patrimônio genético de fauna e flora do bioma cerrado no estado de São Paulo.





Determinação dos parâmetros de qualidade da água

Os parâmetros de qualidade da água foram obtidos em duas campanhas, uma no período seco, realizada nos dias 20 de junho e 18 de julho de 2018, e outra no período chuvoso, realizada em 07 de novembro de 2018. As amostras de água foram coletadas em dez pontos na BHRL (Figura 1), distribuídos entre os cursos hídricos: Água Branca (Ab-1 e Ab-2), Itaqueri (It-1, It-2, It-3 e It-4) e Lobo (Lb-1, Lb-2, Lb-3 e Lb-4). Nesse trabalho, optou-se por amostrar apenas esses cursos hídricos, pois são os que apresentam maior contribuição para o transporte de poluentes ao reservatório do Lobo. A Tabela 1 apresenta as características dos pontos de amostragem selecionados nessa pesquisa.

Tabela 1. Características dos pontos de coleta dos cursos hídricos da BHRL.

			
Ab-1 Córrego Água Branca Localiza-se à montante da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Itirapina/SP. Presença de áreas urbanas na margem esquerda e silvicultura na margem direita.	Ab-2 Córrego Água Branca Localizado à jusante da ETE da cidade de Itirapina. Presença de mata ciliar nas margens do rio, e atividades de silvicultura e fragmentos de cerrado próximo ao trecho.	It-1 Rio Itaqueri Ponto mais próximo a nascente do rio Itaqueri. Apresenta alterações no canal do rio e atividades pecuárias no entorno. Não há presença de vegetação ciliar nesse trecho.	It-2 Rio Itaqueri Localizado em área rural. Apresenta mata ciliar no trecho, além de atividades de silvicultura e pecuária nas proximidades.

Continuação. Tabela 1. Características dos pontos de coleta dos cursos hídricos da BHRL.

			
<p>It-3 Rio Itaqueri Situa-se sobre as áreas alagáveis do rio Itaqueri. Apresenta áreas de pastagem e silvicultura no seu entorno.</p>	<p>It-4 Rio Itaqueri Ponto mais próximo da represa do Lobo, estando a jusante da mineradora de areia e a montante da ETE Itirapina.</p>	<p>Lb-1 Ribeirão do Lobo Ponto mais próximo da nascente do ribeirão do Lobo. Presença vegetação ciliar na margem esquerda e atividades de pecuária na margem direita.</p>	<p>Lb-2 Ribeirão do Lobo Localizado em área rural. Margens degradadas devido a erosão do solo. Presença de atividades pecuárias no entorno.</p>
<div data-bbox="277 770 667 1070"></div> <p>Lb-3 Ribeirão do Lobo Presença de mata ciliar densa no entorno do ponto de coleta.</p>		<div data-bbox="916 770 1318 1070"></div> <p>Lb-4 Ribeirão do Lobo Ponto mais próximo da represa do Lobo, localizado dentro da Estação Ecológica de Itirapina.</p>	

Para a determinação dos parâmetros de qualidade da água foram realizadas coletas superficiais de água nos dez pontos de monitoramento e, posteriormente, analisadas em laboratório no Centro de Recursos Hídricos e

Estudos Ambientais (CRHEA) da Escola de Engenharia de São Carlos. As metodologias utilizadas para a determinação dos parâmetros de qualidade da água estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Metodologias utilizadas nas análises limnológicas.

Parâmetro	Sigla	Unidade	Equipamento e método	Referência
Condutividade elétrica	Cond	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	Sonda YSI 6820	-
Oxigênio dissolvido	OD	mg.L^{-1}	Oxímetro DM – 4P	-
potencial Hidrogeniônico	pH	-	pHmetro	-
Temperatura da água	T	$^{\circ}\text{C}$	Sonda YSI 6820	-
Turbidez	Turb	UNT	Sonda YSI 6820	-
Clorofila – a	Chl	$\mu\text{g.L}^{-1}$	Espectrofotometria	NUSCH (1980)
Nitrogênio total kjeldahl	NTK	mg.L^{-1}	Espectrofotometria	APHA (1995)
Fósforo total	PT	$\mu\text{g.L}^{-1}$	Espectrofotometria	APHA (1995)
Sólidos em suspensão total	SST	mg.L^{-1}	Gravimetria	APHA (1992)

Índice de Estado Trófico

A avaliação do estado trófico dos cursos hídricos afluentes ao reservatório do Lobo foi realizada por meio da utilização do Índice de Estado Trófico proposto por Lamparelli (2004), o mesmo utilizado pela Companhia Ambiental do

Estado de São Paulo (CETESB). Para ambientes lóticos, o IET é calculado com base nos valores das concentrações fósforo total e clorofila - a, segundo as equações:

$$\text{IET (CL)} = 10 \times \left[6 - \left(\frac{-0,7 - 0,6 \cdot \ln CL}{\ln 2} \right) \right] - 20 \quad 1$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \times \left[6 - \left(\frac{-0,42 - 0,36 \cdot \ln PT}{\ln 2} \right) \right] - 20 \quad 2$$

$$\text{IET} = \frac{\text{IET (PT)} + \text{IET (CL)}}{2} \quad 3$$

Em que, PT é a concentração de fósforo total medida à superfície da água ($\mu\text{g.L}^{-1}$); CL é a concentração de clorofila medida à superfície da água ($\mu\text{g.L}^{-1}$); e ln é o logaritmo natural.

Os limites estabelecidos para as diferentes classes de trofia para ambientes lóticos encontram-se descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação do IET para rios.

Classes de trofia	Valores de IET
Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 47$
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 67$

Resultados e discussão

Análise dos parâmetros de qualidade da água

A Figura 2 apresenta os valores dos parâmetros de qualidade da água (temperatura, pH, OD e condutividade) dos pontos de monitoramento do rio Itaqueri, ribeirão do Lobo e córrego Água Branca, amostrados no mês de junho e novembro de 2018.

No que concerne à temperatura da água, observa-se um aumento entre as duas campanhas devido aos efeitos da sazonalidade do clima da região. No período seco (junho), o menor valor de temperatura foi observado no ponto de coleta Lb-2, com valor de 17°C , e o maior valor, 19°C , foi encontrado no ponto It-3. No período chuvoso (novembro), os valores de temperatura variaram entre 20°C e 23°C , observados nos pontos It-3 e It-1, respectivamente.

Os valores de pH variaram pouco entre os períodos seco e chuvoso. Observa-se que as águas da BHRL são levemente ácidas, com valores de pH entre 6 e 7. Foi observado que a maioria dos pontos analisados apresenta valores na faixa do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005,

na qual o pH indicado para rios de classe 2 deve ser igual ou acima de 6. O único ponto que se apresentou abaixo do limite estabelecido foi o ponto Lb-3 (ribeirão do Lobo), analisado no mês de novembro, que obteve um valor de 5,8. O ponto Lb-3 situa-se em um trecho de mata ciliar preservada, localizado próximo à Rodovia Eng. Paulo Nilo Romano. O baixo valor de pH encontrado nesse ponto pode estar relacionado com a presença da vegetação ciliar, pois a ocorrência de matéria orgânica em decomposição aumenta a liberação de ácidos húmicos, provocando uma diminuição nos valores de pH.

Analisando estudos anteriores (Matheus e Tundisi, 1988; Argenton, 2004; Carvalho, 2011; Arroio Junior, 2013), percebe-se que as águas dos rios da bacia sempre apresentaram características ácidas, em que os valores de pH raramente superaram o valor 7. Tal constatação pode estar associada à acidez dos solos da bacia que, condicionados pela presença de vegetação de cerrado, apresentam elevados teores de alumínio, proporcionando a acidificação dos solos.

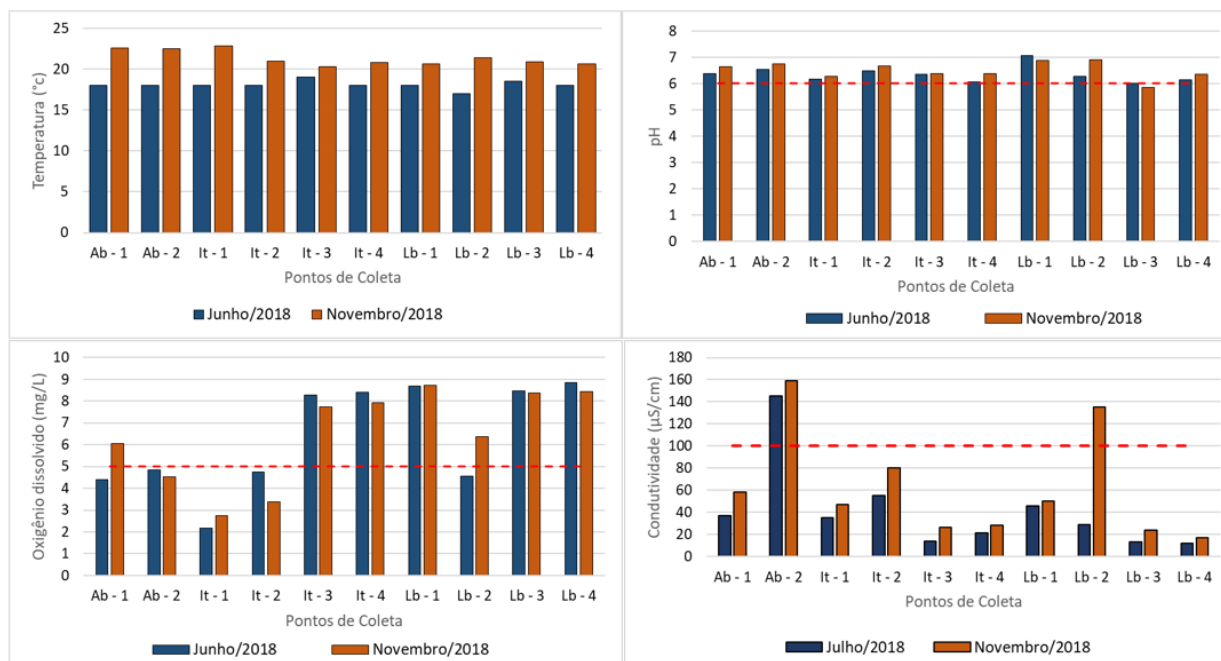


Figura 2. Comparação sazonal (seco/chuvoso) dos parâmetros temperatura, pH, OD e condutividade.

Os resultados obtidos para o OD indicam uma alta variabilidade espacial entre os pontos amostrados e uma baixa variabilidade entre os períodos do ano para a maioria dos pontos de coleta, o que indica que os valores de OD são mais influenciados pela variabilidade espacial das atividades humanas realizadas ao longo da BHRL do que pela sazonalidade climática da região.

De todos os pontos de monitoramento analisados, cinco apresentaram valores abaixo dos 5 mg.L⁻¹ de OD estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, considerando o período seco (junho), e três pontos, considerando o período chuvoso (novembro).

Os pontos It-2 e Ab-2 apresentaram baixos valores nos dois períodos analisados. O valor de OD, encontrado no ponto It-2, foi de 4,77 mg.L⁻¹ para junho e igual a 3,38 mg.L⁻¹ para novembro. O ponto It-2 localiza-se no alto curso do rio Itaqueri, e apesar da presença de mata ciliar nesse trecho, observa-se que há ocorrência de atividades pecuárias no entorno das áreas ciliares, o que pode estar associada com os baixos valores de OD nesse local.

O ponto Ab-2 apresentou valor de 4,84 mg.L⁻¹ no mês de junho e 4,52 mg.L⁻¹ para o mês de novembro. Esse ponto situa-se a jusante da estação de tratamento de efluentes da cidade de Itirapina, próximo à rodovia Ayrton Senna. Assim, as baixas concentrações de OD nesse ponto podem estar associadas com o despejo dos efluentes do sistema de tratamento de Itirapina, o qual consome o oxigênio dissolvido para a sua decomposição.

No mês de junho, os pontos Ab-1 e Lb-2 também apresentaram valores críticos, abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, 4,40 mg.L⁻¹ e 4,56 mg.L⁻¹ respectivamente. Os baixos valores de OD encontrados nesses pontos podem estar associados à presença de matéria orgânica advinda das atividades urbanas e agropecuárias próximas aos locais de coleta.

Os menores valores de OD para os dois períodos analisados foram encontrados no ponto It-1, localizado nas regiões de cabeceira da bacia, em uma das nascentes do rio Itaqueri, em que os valores encontrados foram 2,18 mg.L⁻¹ em junho e 2,76 mg.L⁻¹ em novembro. O baixo valor desse parâmetro encontrado nesse ponto pode estar associado com a descaracterização do canal do rio, onde foi observado um pequeno represamento para a dessedentação de bovinos, formando um ambiente com condições lânticas. Além da descaracterização do canal do rio, pode-se presumir também que a depleção do OD pode estar relacionada com a entrada de dejetos de animais que vivem ao redor do curso hídrico, tendo em vista que o OD é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por substâncias orgânicas (Pereira, 2004; Von Sperling, 2005).

Os resultados das análises de condutividade mostraram que a maioria dos pontos amostrados apresentam valores abaixo do limite de 100 µS.cm⁻¹ estabelecido pela CETESB (2009). Os valores de condutividade mais elevados foram encontrados nas regiões de cabeceira (It-1, It-2, Lb-

1 e Lb-2) e no córrego Água Branca, ponto Ab-1 e Ab-2.

Os altos valores de condutividade encontrados nos pontos It-1, It-2, Lb-1 e Lb-2 podem estar relacionados com as atividades pecuárias presentes nas regiões mais altas da BHRL, pois os dejetos de animais podem aumentar a concentração de íons dissolvidos na água. Outros autores como Matheus e Tundisi (1988) também observaram uma alta condutividade nessa região. Esses autores associaram o resultado a criação de animais e ao maior poder de erosão e dissolução das rochas, causado pela maior turbulência das águas nessa região.

Os valores de condutividade elétrica que se apresentaram acima do limite de $100 \mu\text{S.cm}^{-1}$, para os dois períodos analisados, foram encontrados no córrego Água Branca (ponto Ab-2), $145 \mu\text{S.cm}^{-1}$ no período seco e $159 \mu\text{S.cm}^{-1}$ no período chuvoso. Nesse caso, o resultado encontrado pode estar relacionado com os efluentes da ETE de Itirapina. Valores altos de condutividade nesse local também foram encontrados nos estudos de Argenton (2004), Carvalho (2011) e Arroio Junior (2013). Outro ponto que também apresentou valores acima do limite estabelecido pela CETESB (2009) foi o ponto Lb-2, que apresentou um valor de $135 \mu\text{S.cm}^{-1}$ no período chuvoso, demonstrando um

aumento de quase 5 vezes em relação ao período seco ($29 \mu\text{S.cm}^{-1}$).

Os valores mais baixos de condutividade foram observados nos pontos mais próximo da represa do Lobo (It-3, It-4, Lb-3 e Lb-4), que estão localizados em trechos mais preservados do ponto de vista de estrutura ciliar, com pouca interferência antrópica no seu entorno.

Os parâmetros SST, turbidez, NTK e PT estão apresentados na Figura 3.

No que se refere aos SST, observa-se baixas concentrações nos cursos hídricos da bacia, com valores abaixo de 10 mg.L^{-1} , constatação já observada nos estudos de Argenton (2004) e Arroio Junior (2013). A única exceção foi o ponto It-1, onde a concentração de SST chegou a $23,3 \text{ mg.L}^{-1}$ durante o período chuvoso. Conforme já mencionado anteriormente, esse ponto é atípico aos demais, pois apresenta condições de ambientes lânticos devido ao pequeno represamento feito nesse trecho, podendo influenciar os valores de SST e de outros parâmetros de qualidade da água.

As concentrações mais altas de SST foram encontradas no alto curso do rio Itaquari e ribeirão do Lobo, nos pontos It-1, It-2 e Lb-2, enquanto as menores concentrações foram observadas nos trechos mais preservados desses cursos hídricos, onde se encontram os pontos It-3, It-4, Lb-3 e Lb-4.

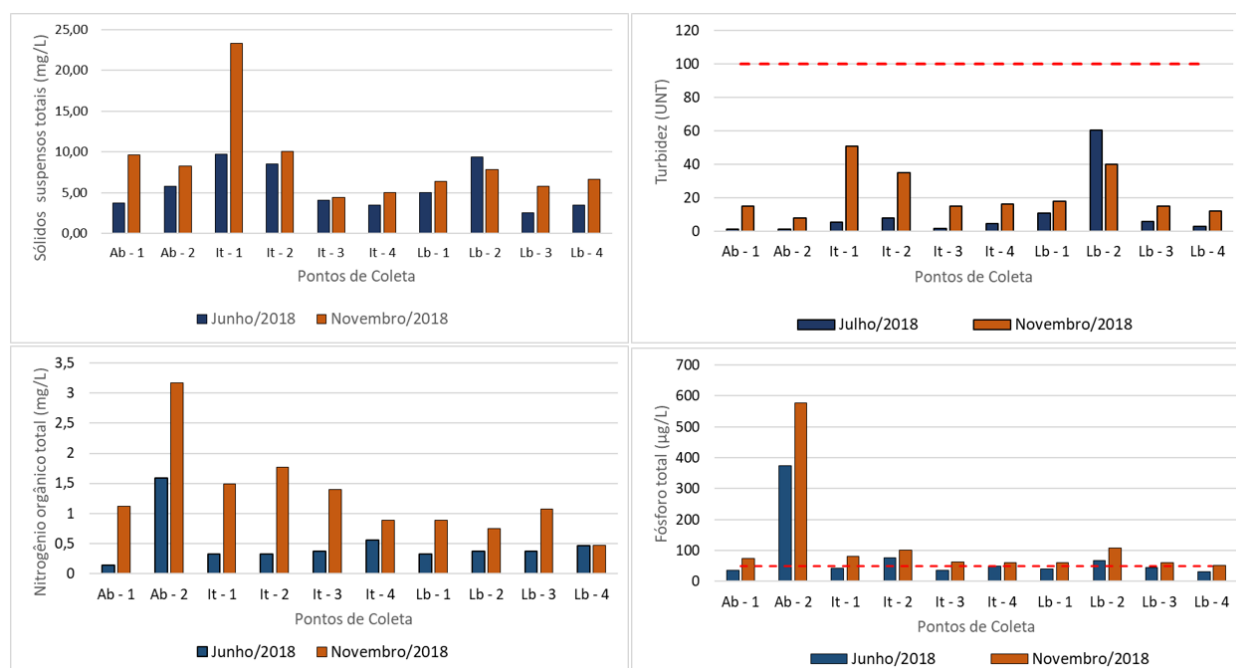


Figura 3. Comparação sazonal (seco/chuvoso) dos parâmetros sólidos suspensos totais, turbidez, nitrogênio total e fósforo total.

Em relação à variabilidade sazonal dos dados, as concentrações de SST mais elevadas foram encontradas nas coletas de novembro, durante o período chuvoso, onde a maior incidência

de precipitação intensifica o transporte de materiais aos cursos d'água, trazendo como consequência o aumento da concentração de materiais na água. Apenas o ponto Lb-2 apresentou concentração

maior no mês de junho em relação a novembro, os valores encontrados foram 9,40 e 7,8 mg.L⁻¹ respectivamente. A maior concentração de SST no mês de junho nesse ponto pode estar diretamente relacionada à intensificação do processo erosivo das margens do ponto de coleta provocado pela presença de gados nesse período.

Os valores de turbidez, assim como observado para SST, foram maiores no período chuvoso. Observa-se que os valores de turbidez dos rios da bacia são relativamente baixos. No período seco, os maiores valores foram registrados próximo à nascente do ribeirão do Lobo, nos pontos Lb-1 e Lb-2, cujos valores encontrados foram 10,8 e 60,6 UNT, respectivamente. No período chuvoso o maior valor registrado foi de 51 UNT, observado no ponto It-1. Foi constatado que todos os pontos amostrados apresentaram valores de turbidez abaixo dos 100 UNT estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05.

No que se refere ao NTK, observa-se um aumento nas concentrações desse parâmetro entre os períodos seco e chuvoso, demonstrando que a concentração desse poluente nos cursos hídricos varia muito em virtude da sazonalidade do clima, principalmente devido as maiores ocorrências de precipitações no mês de novembro.

Em relação a variabilidade dos pontos de amostragem, foi observado maior concentração NTK no ponto Ab-2 para os dois períodos analisados. As concentrações elevadas nesse ponto estão diretamente relacionadas com o lançamento de efluente da ETE de Itirapina, que contribui para o aumento na concentração de nitrogênio oriundo da matéria orgânica presente nesses efluentes. Essa constatação já foi observada por diversos pesquisadores, a exemplo de Argenton (2004), Carvalho (2011), Leonel (2012) e Sanchez, (2012).

Concentrações elevadas NTK no período chuvoso também foram observadas nos pontos It-1 e It-2, nos quais os valores encontrados foram 1,49 mg.L⁻¹ e 1,77 mg.L⁻¹, respectivamente. As altas concentrações nesses locais podem estar relacionadas com a poluição difusa, gerada a partir da lixiviação do solo de áreas dominadas por atividades agropecuárias, uso predominante na região onde os pontos se encontram. Matheus e Tundisi (1988) também encontraram quantidades elevadas de nutrientes nos pontos próximo às nascentes do rio Itaqueri e ribeirão do Lobo, corroborando com os resultados obtidos nesse estudo.

A menor concentração de NTK foi encontrada no ponto Lb-4, o valor obtido foi de 0,47 mg.L⁻¹ para os dois períodos analisados. Os baixos valores podem estar associados a área na qual esse ponto está situado, pois o mesmo

encontra-se nos limites da Estação Ecológica de Itirapina, área preservada, dominada pela vegetação de cerrado. Ressalta-se também a presença de uma extensa área de vegetação ciliar que protege esse curso hídrico contra a entrada de poluentes.

Os resultados obtidos para o PT mostraram que as concentrações aumentaram entre o período seco e chuvoso devido às precipitações. Para o período seco, a concentração de PT variou de 31,8 µg.L⁻¹ para o ponto Lb-4 a 374,78 µg.L⁻¹ para o ponto Ab-2. Já no período chuvoso as concentrações variaram de 52,06 µg.L⁻¹ para o ponto Lb-4 a 578,35 µg.L⁻¹ para o ponto Ab-2.

Assim como na análise de outros parâmetros, as concentrações de PT mais elevadas foram encontradas no córrego Água Branca, no ponto Ab-2. Essa constatação demonstra os efeitos negativos que o despejo de efluentes domésticos da cidade de Itirapina causa sobre esse curso hídrico, visto que muitos parâmetros apresentaram valores críticos nesse trecho, principalmente no que se refere às concentrações de nutrientes, como já observados em outros estudos citados nesse trabalho.

Para os demais pontos da bacia, os resultados mostram que as concentrações de PT apresentaram um valor máximo de 75,9 µg.L⁻¹, observada no ponto It-2 no mês de junho, e de 108,11 µg.L⁻¹ para o ponto Lb-2 no mês de novembro. Ambos os pontos se localizam próximo às nascentes do rio Itaqueri e ribeirão do Lobo, onde o uso predominante são as atividades agropecuárias que podem poluir as águas nesses trechos devido à drenagem de áreas rurais.

Com relação ao atendimento da Resolução CONAMA 357/2005, observa-se que a maioria dos pontos amostrados não atende ao valor máximo de PT (50 µg.L⁻¹) estabelecido por essa Resolução para rios de classe 2. Considerando o valor médio entre os meses de junho e novembro, nota-se que todos os pontos apresentaram valores acima do estabelecido, com exceção do ponto Lb-4.

Os resultados para clorofila-a (Figura 4) indicam que as águas da bacia apresentam baixas concentrações. Todos os pontos de coleta apresentaram valores abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2 (30 µg.L⁻¹).

As maiores concentrações ocorreram no mês de novembro, com exceção do ponto Lb-2 que apresentou uma concentração maior no mês de junho, em que o valor encontrado foi de 13,62 µg.L⁻¹. Esse ponto também apresentou concentrações elevadas de fósforo total no mesmo mês, o que pode estar associado com o aumento das concentrações de clorofila-a, visto que o fósforo

está diretamente relacionado com a produtividade primária em ambientes aquáticos.

Outros pontos que também apresentaram concentrações elevadas foram encontrados nas nascentes do rio Itaqueri (It-1), trecho bastante modificado por interferências antrópicas, conforme já discutido anteriormente, onde os valores

registrados variaram de $4,93 \mu\text{g.L}^{-1}$ em junho a $9,87 \mu\text{g.L}^{-1}$ em novembro; e nos pontos situados no córrego Água Branca, com destaque para o ponto Ab-1 que em novembro apresentou um valor de aproximadamente $25 \mu\text{g.L}^{-1}$, valor próximo aos $30 \mu\text{g.L}^{-1}$ estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.

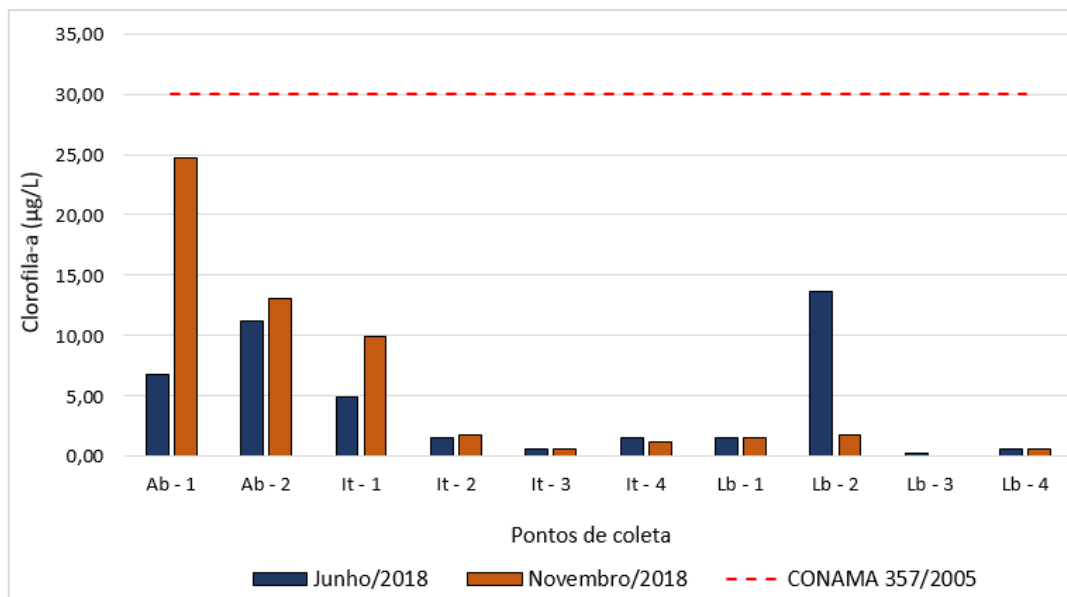


Figura 4. Comparação sazonal (seco/chuvoso) do parâmetro clorofila-a.

Análise do Estado Trófico das Águas

Os resultados do IET determinados para os pontos de monitoramento da BHRL são apresentados na Figura 5 e Tabela 4. Os dados indicam que a maioria dos pontos de

monitoramento se enquadra, considerando os dois períodos analisados, na classe mesotrófico, que caracteriza ambientes com estado intermediário de trofia, segundo a classificação estabelecida por Lamparelli (2004).

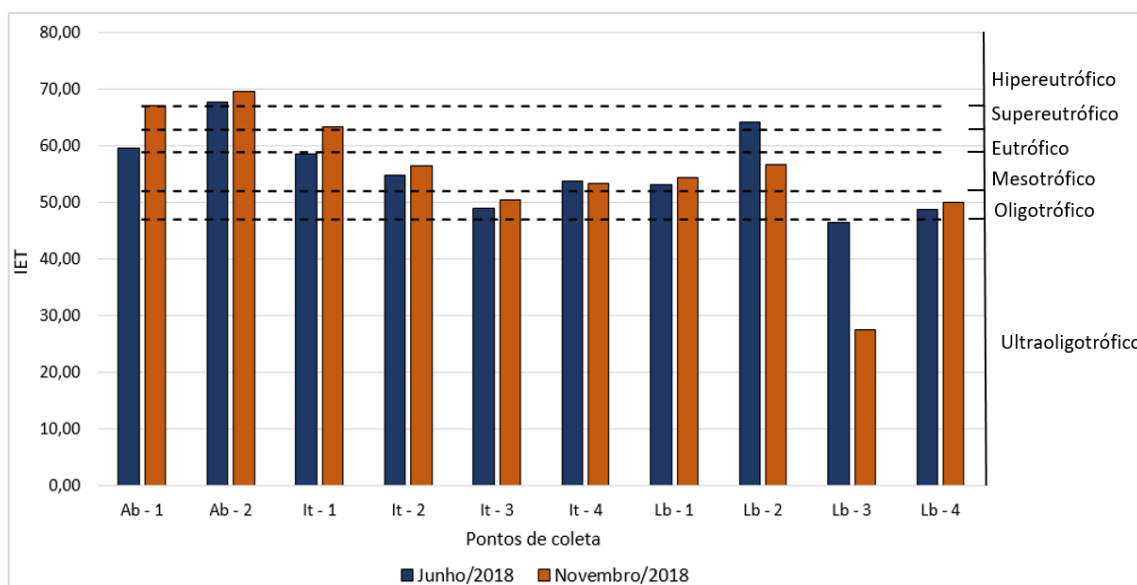


Figura 5. Valores do IET dos pontos de monitoramento da BHRL.

Tabela 4. Classes do IET dos pontos de monitoramento da BHRL.

Pontos de monitoramento	Classes do IET	
	Junho/2018	Novembro/2018

Ab-1	Eutrófico	Supereutrófico
Ab-2	Hipereutrófico	Hipereutrófico
It-1	Mesotrófico	Supereutrófico
It-2	Mesotrófico	Mesotrófico
It-3	Oligotrófico	Oligotrófico
It-4	Mesotrófico	Mesotrófico
Lb-1	Mesotrófico	Mesotrófico
Lb-2	Supereutrófico	Mesotrófico
Lb-3	Ultraoligotrófico	Ultraoligotrófico
Lb-4	Oligotrófico	Oligotrófico

Com relação à sazonalidade, foi observado uma leve variabilidade nos valores do IET entre os meses junho e novembro, sendo os maiores valores, com exceção dos pontos Lb-2 e Lb-3, encontrados no mês de novembro. Tendo em vista que o aumento da produtividade dos ecossistemas aquáticos está diretamente relacionado com o aumento da concentração de nutrientes, esse resultado pode estar associado a maior incidência das precipitações nesse mês, que carregam nutrientes e outros materiais ao interior dos corpos hídricos, provocando alterações no estado trófico das águas.

No que se refere à variabilidade dos valores do IET entre os pontos de monitoramento, nota-se que o ponto com maior grau de trofia foi Ab-2, classificado como hipereutrófico para os dois períodos analisados. Como já mencionado anteriormente, esse ponto é um dos mais críticos da bacia devido à poluição pontual gerada pela cidade de Itirapina. Conforme demonstrado nas análises de nutrientes, esse ponto apresentou altas concentrações de fósforo total, onde os valores registrados foram, considerando a média entre junho e novembro, quase dez vezes maior que o estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005, o que explica o elevado grau de trofia encontrado nesse trecho. Outro ponto que merece atenção é o ponto Ab-1, situado na cidade de Itirapina, cujo grau de trofia variou de eutrófico em junho para supereutrófico em novembro. O alto grau de trofia registrados nesses trechos já foram observados por outros autores (Carvalho, 2011; Leonel, 2012; Sanchez, 2012), corroborando com os resultados obtidos nesse estudo.

Conclusões

A partir das análises realizadas nesse trabalho foi possível diagnosticar a qualidade das águas dos cursos hídricos afluentes ao reservatório do Lobo, identificando os trechos mais críticos e prioritários à gestão e melhoria da qualidade hídrica da área de estudo.

Os resultados mostraram que o ponto mais crítico da área de estudo se localiza no córrego

Água Branca, no trecho localizado a jusante da cidade de Itirapina, que recebe influência direta dos efluentes gerados pela cidade. Vários parâmetros analisados nesse trecho não estavam em conformidade com os valores de referência estabelecidos pela Resolução Conama 357/2005, principalmente NTK e PT, em que as concentrações observadas ficaram muito acima dos valores de referência previstos na legislação. Esse ponto também apresentou o pior estado trófico (hipereutrofico) entre todos os pontos analisados.

Outros trechos que também merecem atenção se situam nas partes altas da BHRL, em pontos localizados nas regiões de nascentes do rio Itaqueri e ribeirão do Lobo. Nessa região ocorrem atividades agropecuárias que associadas a baixa cobertura de vegetação natural podem estar influenciando na diminuição da qualidade da água.

Os valores observados de pH mostraram que as águas da BHRL são levemente ácidas devido às características dos solos da região. A maioria das amostras analisadas ficaram com valores de pH dentro dos limites estabelecidos pela CONAMA 357/2005.

As concentrações de oxigênio dissolvido apresentaram uma alta variabilidade entre os pontos de coleta, em que alguns pontos ficaram abaixo dos valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005.

A maioria dos pontos de coleta amostrados apresentaram valores de condutividade abaixo do limite de $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ estabelecido pela CETESB.

As concentrações de SST e turbidez são relativamente baixas nos cursos hídricos analisados.

As concentrações de nutrientes (NTK e PT) aumentaram entre junho e novembro, o que pode estar relacionado com a maior incidência de precipitações que intensifica o transporte de materiais aos corpos hídricos que podem trazer nutrientes adsorvidos. Na maioria dos pontos amostrados, a concentração de fósforo total não atende às diretrizes da Resolução CONAMA 357/2005.

Os resultados do IET mostraram que a maioria dos pontos de coleta se enquadram na classe mesotrófico, caracterizando ambientes com estado intermediário de trofia.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de estudo e ao Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais (CRHEA), da Universidade de São Paulo, pela infraestrutura oferecida.

Referências

- Alilou, H. et al., 2019. A novel approach for selecting sampling points locations to river water quality monitoring in data-scarce regions. *Journal of Hydrology* 573, 109-122. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.03.08
- Argenton, É. C., 2004. Limnologia, balneabilidade e impactos ambientais: uma análise temporal e espacial na represa do Lobo (Broa), Itirapina/Brotas-SP. Dissertação (Mestrado). São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Arroio Junior, P. P., 2013. Avaliação da produção e transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Itaqueri, municípios de Itirapina e Brotas – SP. Dissertação (Mestrado). São Carlos, Universidade de São Paulo.
- APHA. American public health association, 1992. Standard methods for examination of water and wastewater. Washington.
- Carvalho, A. E. F., 2011. Análise limnológica e ecotoxicológica de sistemas lóticos e lênticos da bacia hidrográfica dos rios Itaqueri e Lobo (Itirapina/Brotas–SP). Trabalho de conclusão de curso (Graduação). São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicada à Agricultura, 2019. Disponível em: <<https://www.cpa.unicamp.br/>>
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2017. Relatório Anual de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. São Paulo.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2009. Relatório Anual de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Apêndice A. São Paulo.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Brasília: DOU de 19/03/2.
- Delello, D., 2008. Composição e distribuição (espacial e temporal) de macrófitas aquáticas no reservatório do Lobo (Broa), Itirapina/Brotas, SP. Dissertação (Mestrado). São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Estigoni, M. V., Matos, A. J. S., Mauad, F.F., 2014. Assessment of the accuracy of different standard methods for determining reservoir capacity and sedimentation. *J. Soils Sediments* 14, 1224-1234. DOI: 10.1007/s11368-013-0816-x
- Grizzetti, B. et al., 2016. Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science & Policy* 61, 194-203. DOI: 10.1016/j.envsci.2016.04.008
- Grizzetti, B. et al., 2017. Human pressures and ecological status of European rivers. *Scientific reports* 7, 205. DOI: 10.1038/s41598-017-00324-3
- IF. Instituto Florestal do Estado de São Paulo, 2006. Plano de Manejo Integrado das Estações Ecológica e Experimental de Itirapina/SP.
- Lamparelli, M. C., 2004. Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. Tese (Doutorado). São Paulo, Instituto de Biociência - Universidade de São Paulo.
- Leonel, L. F., 2012. Utilização de bioensaios ecotoxicológicos com *Danio rerio* (Cypriniformes, Cyprinidae) e análises limnológicas para a avaliação dos ecossistemas aquáticos na bacia hidrográfica dos rios Itaqueri/Lobo (Itirapina/Brotas, SP). Trabalho de conclusão de curso (Graduação). São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Le Moal, M. et al., 2019. Eutrophication: a new wine in an old bottle? *Science of the Total Environment* 651, 1-11. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.139
- Matheus, C. E., Tundisi, J. G., 1988. Estudo físico químico e ecológico dos rios da bacia hidrográfica do Ribeirão e represa do Lobo. In: Tundisi, J. G. (Org.) *Limnologia e Ecologia de Represas*. ACIESP, p. 419–472.
- Moruzzi, T. B. et al., 2012. Avaliação de cargas difusas e simulação de autodepuração no córrego da Água Branca, Itirapina (SP). *Geociências* 31, 447-458.
- Motheo, D. F., 2005. Estudo limnológico na represa Carlos Botelho (Itirapina/Brotas-SP): uma reavaliação comparativa do sistema Lobo-Broa. Dissertação (Mestrado). São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Nusch, E. A., 1980. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigments determination. *Archiv fur Hydrobiologie* 14, 14-36.
- Pahl-Wostl, C., 2017. Governance of the water-energy-food security nexus: A multi-level

- coordination challenge. *Environmental Science & Policy* 92, 356-367. DOI: 10.1016/j.envsci.2017.07.017
- Pereira, R. S., 2004. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. *Revista Eletrônica de Recursos Hídricos* 1, 20–36.
- Sanchez, A. L., 2012. Análise de risco ecológico para o diagnóstico de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos continentais tropicais. Dissertação (Mestrado). São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Steffen, W. et al., 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347, 1259855. DOI: 10.1126/science.1259855
- Tundisi, J. G. et al., 2003. Gerenciamento e Recuperação das Bacias Hidrográficas dos Rios Itaqueri e do Lobo e da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa) - Municípios de Itirapina e de Brotas. *Rima Artes e Textos*, São Carlos.
- Tundisi, J. G., Matsumura-Tundisi, T., 2014. The ecology of UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa Reservoir) and its watershed, São Paulo, Brazil. *Freshwater Reviews* 6(2), 75–91. DOI: 10.1608/FRJ-6.2.727
- Tundisi, J. G. et al., 2015. Water availability, water quality water governance: the future ahead. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences* 366, 75-79. DOI: 10.5194/piahs-366-75-2015
- Von Sperling, M., 2005. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.