

## AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DO RIO CORUMBATAÍ NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO-SP

### SPATIO-TEMPORAL ASSESSMENT OF SURFACE WATER QUALITY OF CORUMBATAÍ RIVER IN RIO CLARO-SP

**Leonardo dos Santos SEGANTIN, Marcelo Loureiro GARCIA**

Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Avenida 24-A, n° 1515, Bela Vista. Rio Claro - SP.  
E-mails: leonardo.segantim@unesp.br; marcelo.garcia@unesp.br

Introdução  
Materiais e métodos  
  Área de estudo  
  Obtenção e análise dos dados  
  Análise estatística  
Resultados e discussões  
Análise espacial e os parâmetros  
  Potencial Hidrogeniônico (pH)  
  Oxigênio Dissolvido  
  Condutividade Elétrica  
  Turbidez  
  Demanda Química de Oxigênio  
  Temperatura  
Análise estatística  
Análise temporal dos pontos 5 e 8 entre 2017 e 2022  
Conclusões  
Referências

**RESUMO** - O Rio Corumbataí apresenta grande relevância para o abastecimento de diversos municípios na região de Rio Claro – Piracicaba. Assim, em vista da crescente urbanização e das atividades antrópicas, faz-se necessário o constante monitoramento e avaliação da qualidade da água visando uma gestão sustentável dos recursos hídricos da região. Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar de maneira espaço-temporal a qualidade da água do Rio Corumbataí no município de Rio Claro. Foram utilizados dados cedidos pela empresa BRK Ambiental para os parâmetros pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, turbidez, demanda química de oxigênio e temperatura entre os anos de 2017 e 2022. Os resultados foram comparados aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n°. 357/2005 e à valores de referência encontrados na literatura. As análises demonstraram que apenas os parâmetros pH e temperatura atenderam plenamente aos padrões estabelecidos, enquanto que os demais parâmetros apresentaram desconformidades. De maneira geral, a qualidade da água se mostrou fortemente relacionada às características do uso e ocupação do solo referentes à cada ponto, com as águas à montante da área urbana apresentando melhor qualidade em relação às áreas à jusante do município, onde as atividades antrópicas são mais intensas.

**Palavras-chave:** Recursos hídricos. Rio Corumbataí. Qualidade da água. Uso e ocupação do solo.

**ABSTRACT** - The Corumbataí River have great relevance for the supply of several municipalities in Rio Claro – Piracicaba region. Therefore, in view of growing urbanization and human activities, it is necessary to constantly monitor and evaluate the water quality, promoting sustainable management of the region's water resources. In this context, the present study aimed to assess the water quality of Corumbataí River in Rio Claro in a spatio-temporal manner. Data provided by company BRK Ambiental were used for the parameters of pH, dissolved oxygen, electrical conductivity, turbidity, chemical oxygen demand and temperature between the years of 2017 and 2022. The results were compared to the standards established by CONAMA Resolution n°. 357/2005 and reference values found in the literature. The analyses demonstrated that only the pH and temperature fully met the established standards, while the other parameters showed nonconformities. In general, the water quality was strongly related to characteristics of land use and occupation at each point, with waters upstream of the urban area presenting better quality in relation to areas downstream of the urban area, where human activities are more intense.

**Keywords:** Water resources, Corumbataí River, Water quality, Land use and occupation.

## INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural finito que se apresenta como um elemento essencial para a manutenção da vida terrestre, necessária para o atendimento das necessidades básicas dos seres vivos, bem como para o pleno desenvolvimento de atividades socioeconômicas, sendo então necessário que o seu uso seja realizado de maneira consciente (Pessoa, 2013). O crescimento popu-

lacional ocasiona uma crescente demanda pelos recursos hídricos disponíveis, bem como pode acarretar maior degradação da qualidade da água devido a intensificação das atividades antrópicas na região. De acordo com o IBGE (2022), entre os censos de 2010 e 2022, constatou-se um aumento populacional entre os municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí entre

3% (Charqueada) e 16% (Piracicaba).

O Rio Corumbataí é de grande importância na região onde se localiza, sendo responsável por boa parte do abastecimento domiciliar e industrial. Entretanto, estudos recentes apontam para alterações da qualidade da água em determinados trechos (Armas et al., 2007). A qualidade da água se reflete em função do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica onde se insere, sendo influenciada por fatores naturais, como o escoamento superficial e infiltração do solo, ocasionados por eventos de precipitação, bem como pela interferência antrópica, por meio de despejos domésticos e industriais, aporte de resíduos de atividades de extração mineral e agrícolas (como o uso de agrotóxicos e outros insumos) e a disposição inadequada de resíduos sólidos (Von Sperling, 1996).

De acordo com o Decreto Estadual n.º. 10755/77, o Rio Corumbataí é classificado como um rio de água doce classe 2. A Resolução CONAMA n.º. 357/2005, em seu art. 2.º, define águas doces como águas com teor de salinidade igual ou inferior a 0,05%. Em seu art. 38.º, determina que o enquadramento dos corpos hídricos será definido de acordo com seus usos preponderantes mais restritivos, atuais ou pretendidos.

As atividades agropastoris em geral, principalmente a monocultura de cana-de-açúcar e as áreas de pastagem, tem grande destaque na bacia do Rio Corumbataí (Armas et al., 2007). Essas atividades tem o desmatamento como a principal consequência, deixando o solo exposto e suscetível a processos erosivos. A formação e manutenção de pastagens para a criação de animais diminui a diversidade vegetal do ambiente e nota-se também o empobrecimento dos nutrientes do solo devido ao pisoteio dos animais e a consequente compactação do solo (Carvalho et al., 2000).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

O município de Rio Claro (Figura 1) localiza-se no interior do Estado de São Paulo, na parte centro-sudeste.

Possui área de 498,442 km<sup>2</sup> (sendo 48,25 km<sup>2</sup> de área urbanizada), população aproximada de 201.418 habitantes e faz divisa com os municípios de Corumbataí, Araras, Leme, Piracicaba, Ipeúna, Iracemápolis, Itirapina e Santa Gertrudes (IBGE, 2022).

A Bacia do Rio Corumbataí está localizada na parte centro oeste do Estado de São Paulo, com

Nesse sentido, a sub-bacia do Médio Corumbataí, onde se insere o município de Rio Claro, é a sub-bacia com menor área de floresta nativa preservada, indicando forte desmatamento na região para inserção de áreas de pastagem, cultivos agrícolas e expansão urbana (Valente & Vettorazzi, 2002).

Em 2021, de acordo com dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS, 2022), 82,4% da população brasileira foi atendida pela rede pública de abastecimento de água, enquanto 55,8% foi atendida por redes coletoras de esgoto. Do total de esgoto coletado, 80,8% é tratado, com esse valor caindo para apenas 51,2% quando relacionado ao total de esgoto gerado. Assim, essa falta de coleta e tratamento de esgoto se reflete no seu lançamento diretamente nos corpos hídricos, comprometendo a sua qualidade.

Visando preservar os recursos hídricos em território nacional, o Brasil conta com o apoio de diversas legislações, nas quais se destacam a Lei Federal n.º. 9.433/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e as resoluções CONAMA n.º. 357/2005 e 430/2011, que dispõem, respectivamente, sobre a classificação de corpos hídricos, bem como diretrizes para o seu enquadramento, e sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes. No âmbito do Estado de São Paulo, a CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, é o órgão responsável por monitorar a qualidade das águas superficiais.

Dessa forma, o presente estudo teve por objetivo principal avaliar de maneira espaço-temporal a qualidade das águas superficiais do Rio Corumbataí no município de Rio Claro, analisando a sua adequabilidade com a legislação vigente.

área de aproximadamente 170.000 ha. É dividida em cinco sub-bacias, a saber: Alto Corumbataí (31,801,68 ha), Passa-Cinco (52757,6 ha), Médio Corumbataí (29316,6 ha, onde se insere o município de Rio Claro), Ribeirão Claro (28174,9 ha) e Baixo Corumbataí (28724, 84 ha) (Valente & Vettorazzi, 2002).

O clima da região, de acordo com Xavier (2015), é do tipo Cwa na classificação de Köppen (tropical de altitude com duas estações bem definidas), com seca no inverno e verão chuvoso. O período seco ocorre entre abril e setembro, com

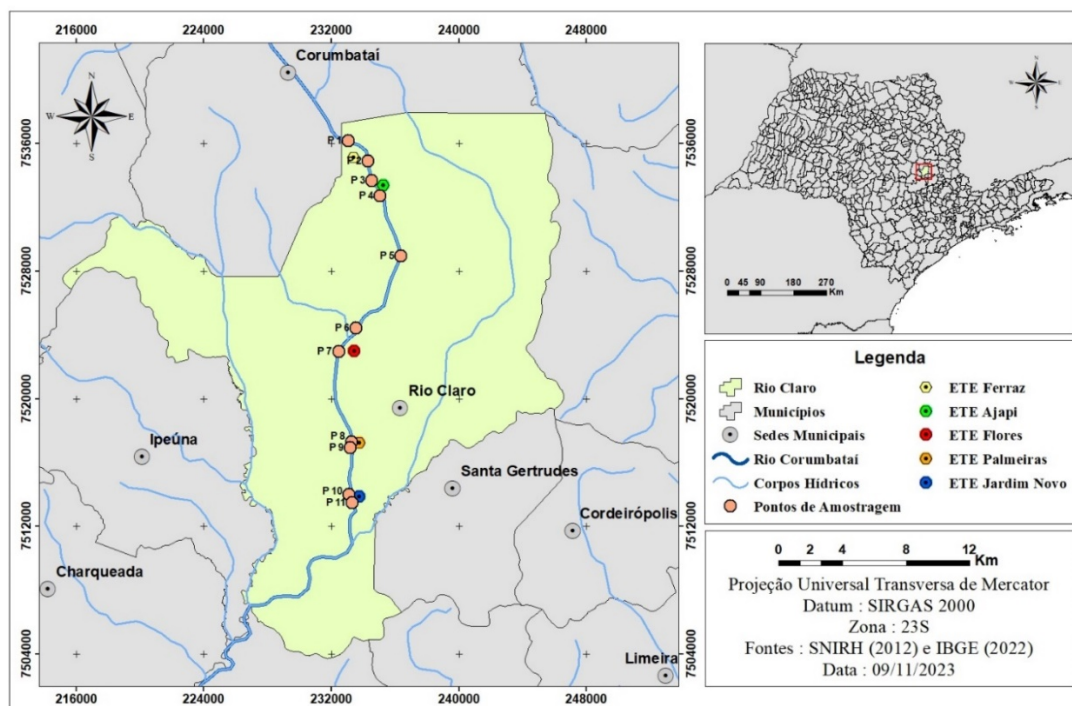


Figura 1 – Mapa de localização do Município de Rio Claro.

4

com precipitação de 180 a 200 mm, enquanto que o período chuvoso, que ocorre entre outubro e março, é responsável por mais de 80% das precipitações anuais, com média de 1200 mm. Os ventos predominantes são provenientes dos quadrantes Sul (S) e Sudeste (SE) (Zaine, 1994).

O município localiza-se, geologicamente, na região nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, representada principalmente por rochas sedimentares e vulcânicas das eras Paleozoica (Grupo Itararé; formações Tatuí, Irati e Corumbataí), Mesozoica (formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral) e Cenozoica (Formação Rio Claro e depósitos Recentes), com destaque para as formações Rio Claro e Corumbataí (Zaine, 1994).

Em relação ao relevo, a área de estudo se insere na denominada Depressão Periférica Paulista, que apresenta topografia pouco acidentada e colinas de topo aplainado entre 550 e 700 metros, levemente convexas (Penteado, 1976). Em relação à pedologia, os tipos predominantes de solo são os Argissolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Vermelho-Amarelos (Xavier, 2015). De acordo com Zaine (2000), esses solos são ácidos e apresentam textura predominantemente arenosa, são bem drenados, com altas taxas de lixiviação e infiltração e pobres em matéria orgânica.

A partir da década de 90, as atividades de extração mineral, em especial a de argila, apresentaram grande desenvolvimento no município, principalmente com indústrias de piso e revestimento, transformando assim a região no Polo Cerâmico de

Santa Gertrudes (PMRC, 2014).

O Rio Corumbataí conta com uma extensão de cerca de 120 km, nascendo na Serra de Santana, em Analândia, em uma altitude de aproximadamente 800 m, e desaguando no Rio Piracicaba, no bairro de Santa Terezinha, no município de Piracicaba, à 470 m de altitude (Zaine, 2000). Conceição & Bonotto (2002), determinaram que a vazão média mensal do Rio Corumbataí é cerca de  $26 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , com a média mensal máxima de  $168 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e a mínima de  $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

#### Obtenção e análise dos dados

Para a análise da qualidade das águas superficiais do Rio Corumbataí, foram utilizados dados cedidos pela empresa BRK Ambiental, relativos aos parâmetros pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, turbidez, demanda química de oxigênio e temperatura, entre janeiro de 2017 e maio de 2022. Inicialmente foram disponibilizados dados sobre 25 pontos de monitoramento, que abrangiam também afluentes do Rio Corumbataí e alguns pontos se distribuíam fora dos limites do município.

Assim, foi realizado um recorte de 11 pontos a serem analisados (Figura 2), que se distribuem apenas entre o rio principal, objeto do presente estudo, e se localizam na área do município de Rio Claro. Os pontos foram selecionados de forma a permitir a análise de áreas à montante e à jusante de ETE's e da área urbana do município, bem como pontos de captação de água para abastecimento.

Figura 2 – Descrição dos pontos de amostragem (Fonte: BRK Ambiental, 2023).

Ponto de Amostragem	Código BRK	Descrição	Latitude (S)	Longitude (W)
1	66	Montante ETE Ferraz	22° 15' 33"	47° 35' 23"
2	19	Jusante ETE Ferraz	22° 16' 15"	47° 34' 41"
3	20	Montante ETE Ajapi	22° 16' 55"	47° 34' 34"
4	21	Jusante ETE Ajapi	22° 17' 26"	47° 34' 17"
5	58	Captação de água	22° 19' 29"	47° 33' 32"
6	22	Montante ETE Flores	22° 21' 55"	47° 35' 14"
7	23	Jusante ETE Flores	22° 22' 42"	47° 35' 53"
8	26	Montante ETE Palmeiras	22° 25' 47"	47° 35' 29"
9	27	Jusante ETE Palmeiras	22° 25' 58"	47° 35' 34"
10	63	Montante ETE Jardim Novo	22° 27' 25"	47° 35' 40"
11	51	Jusante ETE Jardim Novo	22° 27' 51"	47° 35' 43"

Para a análise espacial, realizada especificamente no ano de 2019, foram utilizados os dados mensais de todo o ano, o que permitiu uma boa amostragem entre as estações seca e chuvosa. Inicialmente, os dados foram submetidos à análise descritiva simples, com o cálculo das médias e desvios padrões, com as primeiras sendo comparadas aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n.º. 357/2005.

Para a análise temporal, foram selecionados dois pontos, um localizado à montante da área urbana e em local de captação de água (ponto 5) e outro à jusante da área urbana (ponto 8). Para os dois pontos em questão, foram analisados os dados mensais entre os anos de 2017 e 2022.

A escolha dos pontos se deu em questão da homogeneidade entre as áreas de estudo, com os pontos à montante da região urbana tendo características muito semelhantes entre si no que se refere ao uso e ocupação do solo, assim como os pontos localizados à jusante do município.

#### Análise estatística

Para análise estatística, realizada para a avaliação temporal no ano de 2019, foram utilizados os valores médios gerais de cada parâmetro (n = 11). Inicialmente foram verificadas a normalidade dos dados por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov com 5% de significância. A presença de outliers foi verificada pelo teste de Grubbs, com significância de 5%.

Foi então elaborada uma matriz de correlação de Pearson para verificar possíveis relações entre os parâmetros analisados. Por fim, foi realizada a Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA – *Hierarchical Cluster Analysis*).

O teste de Kolmogorov-Smirnov compara as probabilidades empíricas de uma variável com as probabilidades teóricas estimadas pela função da distribuição em teste, verificando se os valores da amostra podem razoavelmente ser considerados

como provenientes de uma população com aquela distribuição teórica. Assim, a hipótese nula  $H_0$  admite que a distribuição seja a especificada, com os seus parâmetros estimados com base nos dados amostrais (Cargnelutti Filho et al., 2004). No presente estudo, admitiu-se a hipótese nula como a distribuição normal.

O teste de Grubbs é um teste realizado para detecção de outliers, valores atípicos que notadamente diferem dos outros membros do conjunto onde se inserem (Grubbs, 1969). O valor do teste (G) é dado pela razão entre o módulo da diferença de um resultado individual e a média do conjunto, em relação ao desvio padrão (Equação 1).

$$G = \frac{|a_t - \bar{a}|}{s} \quad (1)$$

Onde G é o valor do teste, a variável  $a_t$  representa um valor individual (normalmente o maior ou o menor valor do conjunto),  $\bar{a}$  representa a média aritmética do conjunto e s representa o desvio padrão do conjunto.

De acordo com o número de observações (n) é estabelecido um valor crítico (Z), se  $G > Z$ , o valor é considerado um outlier. Esses valores críticos são tabelados e dependem do nível de significância adotado. Para n = 11 e significância de 5%, têm-se  $Z = 2,34$  (Grubbs, 1969).

O coeficiente de correlação de Pearson ( $\rho$ ) é uma medida da relação linear entre duas variáveis distintas, variando entre -1 e 1. O sinal indica se a relação é positiva ou negativa e quanto mais próximo dos extremos, mais forte é a relação (Figueiredo Filho & Silva Junior, 2010). O cálculo de  $\rho$  é realizado de acordo com a equação 2.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

Onde  $\rho$  é o coeficiente de Pearson para as variáveis analisadas,  $x_i$  e  $y_i$  representam os valores individuais dos conjuntos  $x$  e  $y$ , respectivamente, e  $n$  é o número de amostras dos conjuntos. Por fim,  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  representam as médias aritméticas dos conjuntos  $x$  e  $y$ , respectivamente. Para avaliar os resultados obtidos, foram definidos intervalos para os valores  $\rho$  obtidos (Tabela 1).

A análise de agrupamento hierárquico interliga as amostras por meio de suas associações, gerando um dendrograma, em que as amostras semelhantes, de acordo com as variáveis escolhidas, são agrupadas entre si (Moita Neto & Moita, 1998).

Para a análise, os dados foram inicialmente submetidos à um pré-tratamento através de

padronização, em função das diferenças entre as escalas dos parâmetros. Foi utilizado o método de Ward com medida de distância euclidiana.

**Tabela 1** – Intervalos do coeficiente de correlação  $\rho$  (Fonte: Dancey & Reidy, 2005, segundo Figueiredo Filho & Silva Junior, 2010).

Coeficiente $\rho$	Relação
1	Positiva perfeita
$0,7 \leq \rho < 1$	Positiva Forte
$0,4 \leq \rho < 0,7$	Positiva moderada
$0,1 \leq \rho \leq 0,3$	Positiva fraca
$-0,3 \leq \rho \leq -0,1$	Negativa fraca
$-0,7 < \rho \leq -0,4$	Negativa moderada
$-1 < \rho \leq -0,7$	Negativa forte
1	Negativa perfeita

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Análise espacial dos parâmetros

Os valores das médias e desvios padrões dos parâmetros no ano de 2019, bem como as médias das estações seca e chuvosa podem ser observadas, respectivamente, nas tabelas 2 e 3. Em seguida, são realizadas discussões individuais referentes à cada parâmetro.

Para as variações mais significantes foram elaborados gráficos destacando as médias e desvios padrões.

### Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é uma medida que representa o grau de acidez, alcalinidade ou neutralidade da água, variando entre 0 e 14 (Palma-Silva, 2006).

É um importante parâmetro para a vida aquá-

tica e para diversas etapas do tratamento de água.

Pode ter origem natural, como a dissolução de rochas, fotossíntese ou absorção de gases atmosféricos, ou antrópica, como despejos domésticos e industriais.

Em geral, valores afastados na neutralidade tendem a afetar a vida aquática e as águas de abastecimento, causando corrosividade, em caso de pH baixo, e incrustações em caso de pH elevado (Von Sperling, 1996).

Esteves (2011) afirma que, em geral, o pH dos corpos hídricos continentais varia entre 6 e 8,5. De acordo com a Resolução CONAMA n°. 357/2005, os valores de pH para rios enquadrados como classe 2 devem situar-se entre 6 e 9.

**Tabela 2** – Médias e desvios padrões dos parâmetros analisados nos pontos de monitoramento em 2019 (Elaborado pelos autores com dados de BRK Ambiental, 2023).

Parâmetros		Pontos de Monitoramento										
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
pH	Média	7,03	7,12	7,18	7,16	7,14	7,25	7,18	7,03	7,04	7,06	7,08
	Desv. Pad.	0,23	0,24	0,23	0,20	0,28	0,22	0,19	0,24	0,25	0,16	0,13
OD	Média	8,12	7,98	7,96	7,71	7,48	7,69	7,19	5,62	5,58	5,08	5,59
	Desv. Pad.	0,76	0,69	0,75	0,82	0,97	0,71	0,81	1,04	0,96	0,97	0,75
Cond.	Média	47,33	48,5	60,08	60,25	66,67	74,25	83,33	95,92	101,58	132	175,17
	Desv. Pad.	7,12	9,7	24,8	18,6	22,96	30,26	15,08	16,75	20,37	23,06	33,04
Turbidez	Média	13,50	49,58	37,83	42,17	56,83	56,33	42	67,25	69,58	33,5	27,42
	Desv. Pad.	4,18	71,47	25,37	28,97	94,15	25,71	25,32	76,64	81,55	16,95	13,28
DQO	Média	11	15,58	15,92	14,67	12,50	14,67	14,67	16,83	17,92	17,67	15
	Desv. Pad.	0*	1,38	4,58	1,15	5,20	1,15	1,15	4,37	5,45	9,39	0*
Temp.	Média	21,95	21,81	22,03	21,87	23,08	23,04	22,98	22,2	22,37	22,95	22,89
	Desv. Pad.	2,54	2,85	2,55	2,74	2,95	3,54	3,66	3,51	3,4	3,74	3,74

\* : Todos os dados mensais apresentaram valores iguais; OD : Oxigênio Dissolvido; C.E. : Condutividade Elétrica; DQO : Demanda Química de Oxigênio; Temp. : Temperatura da Água; Desv. Pad. : Desvio Padrão.

**Tabela 3** – Médias dos parâmetros analisados nas estações seca e chuvosa em 2019 (Elaborado pelos autores com dados de BRK Ambiental, 2023).

Parâmetros	Estação	Pontos de Monitoramento										
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
pH	Seca	7,03	7,2	7,27	7,23	7,25	7,33	7,3	7,17	7,15	7,13	7,08
	Chuvosa	7,03	7,03	7,1	7,08	7,03	7,17	7,07	6,88	6,93	6,98	7,08
OD	Seca	8,67	8,47	8,47	8,28	8,23	8,23	7,87	6,05	5,92	5,32	5,65
	Chuvosa	7,57	7,48	7,45	7,14	6,73	7,15	6,52	5,18	5,25	4,85	5,53
Cond.	Seca	46,67	48,5	66,83	59,5	60,17	56,83	84,33	101,83	112,17	132	175,67
	Chuvosa	48	48,5	53,33	61	73,17	91,67	82,33	90	91	132	174,67
Turbidez	Seca	14,33	29,67	26,5	28,83	27	47,83	31,33	35,17	40,5	25,5	23,17
	Chuvosa	12,67	69,5	49,17	55,5	86,67	64,83	52,67	99,33	98,67	41,5	31,67
DQO	Seca	11	15,00	17,5	15	11	15	15	15	17,33	15	15
	Chuvosa	11	16,17	14,33	14,33	14	14,33	14,33	18,67	18,5	20,33	15
Temp.	Seca	19,87	19,58	20,27	19,83	20,95	20,55	20,22	19,95	20,23	20,2	20,15
	Chuvosa	24,03	24,03	23,78	23,9	25,22	25,53	25,75	24,45	24,5	25,7	25,63

Os valores médios das amostras variaram entre  $7,03 \pm 0,23$  no ponto 8 e  $7,25 \pm 0,22$  no ponto 6, se encaixando assim nos valores previstos na legislação em todos os pontos. De maneira geral, os valores médios se mantiveram relativamente constantes ao longo de todo o rio, sem variações expressivas, com o pH no rio Corumbataí mantendo-se próximo à neutralidade, resultado também constatado anteriormente por Conceição & Bonotto (2002).

A geologia da região pode ser um fator determinante desse comportamento. Oliva & Kiang (2002), em estudo sobre as águas subterâneas do município de Rio Claro, classificaram as águas das formações Rio Claro e Corumbataí/Tatuí, predominantes na área de estudo, como bicarbonatadas cálcicas-magnesianas e bicarbonatadas cálcicas, respectivamente. Essas águas apresentam-se preponderantemente como águas neutras/alcálicas.

Sazonalmente, os valores verificados se mostraram ligeiramente inferiores na estação chuvosa em todos os pontos, com exceção dos pontos 1 e 11, que apresentaram médias iguais. Esse comportamento pode estar relacionado à intensificação de processos de escoamento superficial, típico nas estações chuvosas, aumentando o aporte de resíduos vegetais (provenientes da vegetação presente nas margens) ricos em ácidos orgânicos para o rio (Esteves, 2011).

Também pode estar relacionado à presença de solos ácidos em todos os pontos. Outra hipótese seria a redução da atividade fotossintética influenciada pelas maiores temperaturas verificadas na estação chuvosa, reduzindo a retirada de  $\text{CO}_2$  da

água, consequentemente levando à diminuição do pH.

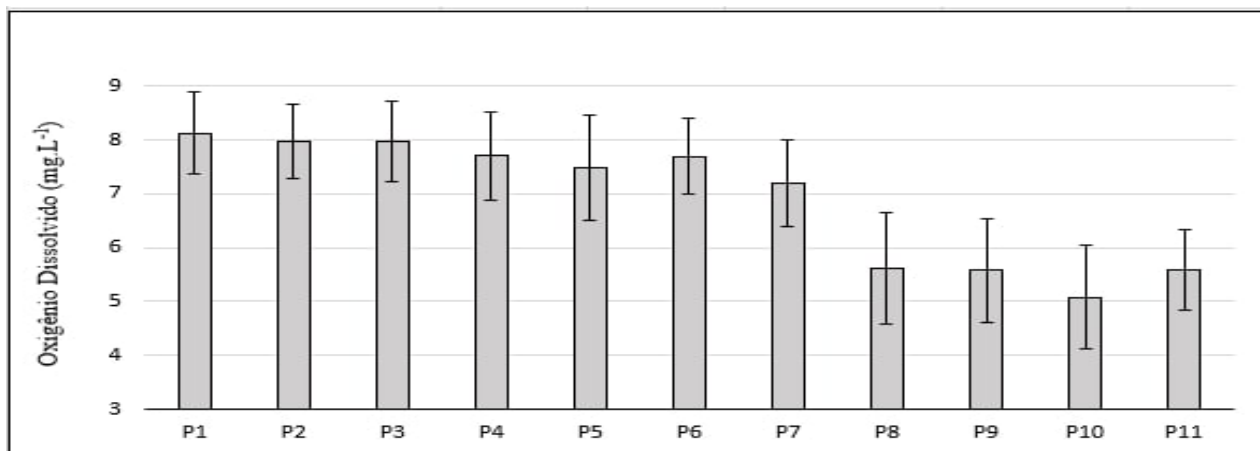
#### Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) é um parâmetro essencial para a vida aquática aeróbia e também um indicador primário da qualidade da água, podendo afetar significativamente a qualidade dos ecossistemas aquáticos quando em níveis inferiores aos aceitáveis (Janzen et al., 2008). De acordo com Von Sperling (1996), em concentrações em torno de  $4\text{-}5 \text{ mg.L}^{-1}$  morrem os peixes mais exigentes, enquanto que concentrações iguais ou inferiores a  $2 \text{ mg.L}^{-1}$  são letais para todos os peixes, sendo então o principal parâmetro para se analisar a poluição das águas por matéria orgânica. A Resolução CONAMA n°. 357/2005 define que, em qualquer amostra, deve ser observado o valor mínimo de  $5 \text{ mg.L}^{-1}$  para rios de classe 2.

Os valores médios das amostras variaram entre  $5,08 \pm 0,97 \text{ mg.L}^{-1}$  no ponto 10 e  $8,12 \pm 0,76 \text{ mg.L}^{-1}$  no ponto 1. Entretanto, foram observados valores inferiores ao mínimo principalmente nos meses de estação chuvosa nos pontos 8, 9, 10 e 11, chegando a atingir  $2,6 \text{ mg.L}^{-1}$  em novembro no ponto 10. Esteves (2011) afirma que déficits de oxigênio são comuns em corpos hídricos tropicais, principalmente em função de altas temperaturas e características morfométricas da região. É importante ressaltar que não foram informados os horários de coleta das amostras, o que é um importante fator, tendo em vista que o OD sofre variações ao longo do dia, influenciado por fatores como temperatura e atividade fotossintética na zona eufótica (Moura et al., 2013).

Espacialmente, nota-se um decréscimo nos valores de OD ao longo do rio (Figura 3), demonstrando uma queda da qualidade da água de montante para a jusante do município de Rio Claro. A queda mais significativa ocorre do

ponto 7 (7,19 mg.L<sup>-1</sup>) para o ponto 8 (5,62 mg.L<sup>-1</sup>). Do ponto 10 para o ponto 11 nota-se uma melhora nos valores, provavelmente relacionada ao processo de autodepuração do rio, conforme se afasta do núcleo urbano.



**Figura 3** – Variação do oxigênio dissolvido nos pontos de monitoramento em 2019 (Elaborado pelos autores com dados de BRK Ambiental, 2023).

Esse comportamento decrescente provavelmente está relacionado à localização dos pontos, próximos a área urbana e indústrias. De acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento do Município de Rio Claro (Rio Claro, 2017), nota-se que os pontos 8-11 se inserem em uma zona de divisão entre a macrozona urbana (a direita) e a macrozona de desenvolvimento econômico e rural (a esquerda). Os menores valores encontrados nessas áreas podem estar relacionados à despejos clandestinos de efluentes orgânicos domésticos e/ou industriais, bem como a disposição inadequada de resíduos sólidos. Os valores mais altos de DQO encontrados nos pontos 8, 9 e 10 e sua posterior diminuição no ponto 11 corroboram as hipóteses apresentadas, visto que, em geral, o OD se relaciona inversamente com a DQO.

Os pontos 1-7, mais afastados dos centros urbanos e industriais, e próximos principalmente a áreas de pastagem, apresentaram valores consideravelmente acima do limite estabelecido, comprovando a boa qualidade da água à montante do município.

Sazonalmente, todos os pontos apresentaram maiores valores de OD na estação seca. Apesar de uma maior incidência de chuvas contribuir para aumentar a diluição de partículas solúveis e a turbulência da água, provavelmente as maiores temperaturas e maior aporte de material orgânico (causado pelo aumento do escoamento superficial) das estações chuvosas causaram a redução dos valores em comparação com a estação seca. Essa redução também pode ser causada pelo

revolvimento da camada de lodo ainda não estabilizado, formado pela matéria orgânica que se sedimentou.

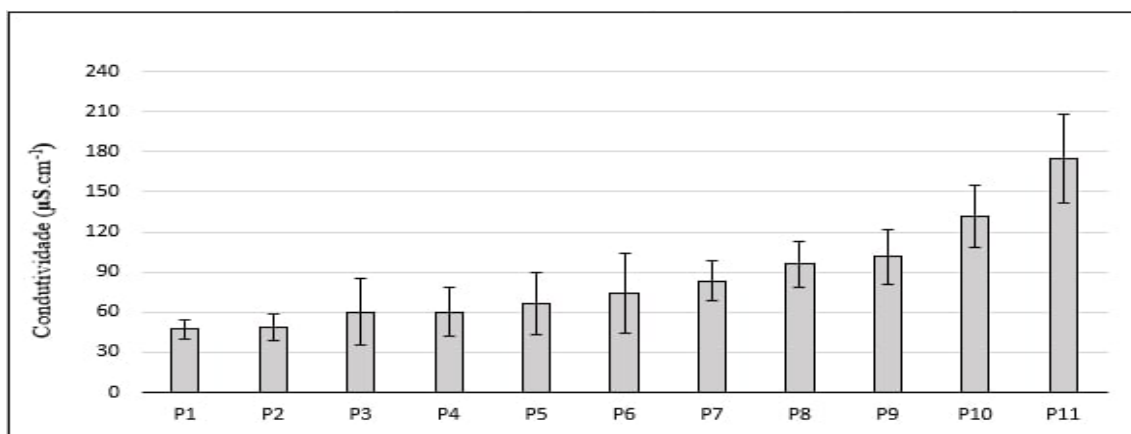
Esse lodo é reintroduzido nos níveis superficiais pelo aumento de vazão e consequente aumento da velocidade de escoamento (Von Sperling, 2007).

#### **Condutividade elétrica**

A condutividade elétrica (CE) da água é a medida de sua capacidade de conduzir corrente elétrica, sendo utilizada como um parâmetro para medir a concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT) presentes na água e indiretamente como um indicador de poluição. Também é utilizada na verificação da adequabilidade da água para uso agrícola (Metcalf & Eddy, 2016).

A legislação brasileira não prevê valores de referência para a condutividade, entretanto, de acordo com a CETESB (2016), águas que apresentam valores superiores a 100  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  são um indicativo de ambientes impactados. Os valores médios das amostras variaram entre  $47,33 \pm 7,12 \mu\text{S.cm}^{-1}$  no ponto 1 e  $175,17 \pm 33,04 \mu\text{S.cm}^{-1}$  no ponto 11, indicando alterações significativas na qualidade da água.

Espacialmente, nota-se uma tendência de aumento da condutividade ao longo de todo o rio (Figura 4), com os maiores valores sendo observados nos pontos 8-11, após a área urbana. A mesma tendência foi observada anteriormente por Palma-Silva (2006) e Blasius et al. (2022), constatando maior poluição da água nas áreas à jusante do município de Rio Claro e uma melhor qualidade à montante.



**Figura 4** – Variação da condutividade elétrica nos pontos de monitoramento em 2019 (Elaborado pelos autores com dados de BRK Ambiental, 2023).

Os altos valores encontrados provavelmente se relacionam com despejos clandestinos e resíduos de atividades minerárias e/ou agrícolas. Como mencionado anteriormente, a região próxima e à jusante do município (que abrange os pontos 8-11) se insere entre as macrozonas urbana e de desenvolvimento econômico e rural. Nesta última, verifica-se grande presença de indústrias cerâmicas e atividades de extração mineral, principalmente argila, areia e calcário, que ocorrem predominantemente às margens do Rio Corumbataí. Essas áreas, por possuírem menores altitudes e declividades, sendo então mais planas, facilitam a deposição de sedimentos, formando depósitos aluvionares (Lima, 2018).

Em relação às atividades agropecuárias, nota-se que a monocultura de cana-de-açúcar se faz mais presente e próxima do Rio Corumbataí na parte inferior e à jusante do município, onde estão os maiores valores observados de condutividade. Nesse sentido, têm-se a possibilidade de poluição decorrente do uso de fertilizantes, agrotóxicos e outros insumos, que são arrastados para o corpo hídrico pelos processos de escoamento superficial e lixiviação. Práticas agrícolas inadequadas como o manejo inadequado do solo, métodos pouco eficientes de irrigação ou reposição insuficiente de carbono orgânico podem agravar o problema, tornando o solo mais suscetível a processos erosivos, consequentemente aumentando o escoamento superficial e o aporte de substâncias poluidoras para o rio (Pessoa, 2013).

Deve-se destacar também que, com exceção do ponto 5, que se localiza em um local de captação de água, todos os outros pontos localizam-se diretamente à montante ou jusante de ETE's, e sempre se observa um aumento imediato da condutividade do ponto à jusante em relação ao ponto à montante (mesmo nas áreas mais afas-

tadas do município), podendo indicar uma influência do despejo dos efluentes das ETE's na qualidade da água do Rio Corumbataí.

Sazonalmente, não foram encontrados padrões de variação da condutividade entre as estações, com alguns pontos apresentando valores mais expressivos na estação seca e outros na estação chuvosa. Em alguns pontos, nota-se ainda valores médios iguais ou muito próximos para as duas estações.

#### **Turbidez**

A turbidez representa a atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar a água, aferindo uma aparência turva a mesma. É causada pela presença de sólidos em suspensão, que podem ter origem natural mineral (partículas de rochas, argila e silte) ou orgânica (algas e microrganismos), ou antropogênica, como despejos domésticos e/ou industriais e pela intensificação de processos erosivos. Esses sólidos em suspensão podem afetar o tratamento da água protegendo os microrganismos do processo de desinfecção e também reduzir a atividade fotossintética, levando à alteração de outros parâmetros, como o oxigênio dissolvido e o pH (Von Sperling, 1996).

A Resolução CONAMA n°. 357/2005 determina que, para rios de classe 2, o limite de turbidez deve ser de 100 NTU. A *World Health Organization* (WHO, 1993) recomenda que em virtude de seus efeitos microbiológicos, os valores de turbidez sejam mantidos o mais baixo possível. Diz ainda que águas com turbidez abaixo de 5 NTU são normalmente aceitas pelos consumidores. A aparência da água é um dos fatores mais importantes para os consumidores em geral, visto que as pessoas tendem a automaticamente associar a turbidez na água à poluição e potenciais riscos à saúde (Sawyer et al., 2003).



Os valores médios das amostras variaram entre  $13,5 \pm 4,18$  NTU no ponto 1 e  $69,58 \pm 81,55$  NTU no ponto 9, se encaixando assim dentro dos limites estabelecidos. Entretanto, nota-se que, com exceção dos pontos 1, 10 e 11, todos os outros pontos apresentaram ao menos um mês com pico de turbidez, ficando acima do limite estabelecido, sempre na estação chuvosa. Os maiores valores encontrados foram 271 NTU em março no ponto 2, 286 NTU em março no ponto 8, 312 NTU em março no ponto 9 e 351 NTU em fevereiro no ponto 5, indicando uma provável presença de processos erosivos ao longo de todo rio, especialmente nesses quatro pontos, onde a erosão laminar deve ser mais intensa. Esses picos são valores muito acima das outras medições e provavelmente se devem à ocorrência de chuvas no dia da coleta ou em dias anteriores próximos.

Especialmente, não há um padrão bem definido para a variação da turbidez. O menor valor encontrado no ponto 1 provavelmente se deve à sua proximidade com a nascente do rio, onde a água naturalmente possui maior qualidade, com esse padrão sendo verificado para todos os parâmetros. O aumento considerável no ponto 2 pode estar relacionado à menor vegetação presente nas margens, considerando ainda que foi um ponto onde ocorreu um pico, provavelmente relacionado à processos erosivos mais avançados. O ponto também se localiza à jusante da ETE Ferraz. Os valores então sofrem flutuações pouco expressivas até o ponto 7, demonstrando a homogeneidade da área abrangida, praticamente composta de pastagens e um pouco de atividades agrícolas.

Os maiores valores observados nos pontos 8 e 9 podem ser atribuídos a possíveis despejos clandestinos e resíduos de atividades de extração de minérios, visto que a área está próxima do centro urbano e industrial do município. A CETESB (2016) atenta para os aumentos excessivos de turbidez causados por atividades de mineração, que tem provocado a formação de grandes bancos de lodo em rios e causado alterações nos ecossistemas aquáticos, muito em função de processos erosivos nas margens dos rios.

Nos pontos 10 e 11, nota-se uma redução dos valores de turbidez, que poderia ser associada ao processo de autodepuração do rio, também observado na análise do OD. Também podem estar relacionados simplesmente à quase não ocorrência de chuvas nos dias próximos à coleta. A ausência de chuvas diminui os valores médios,

visto que os picos ocasionados por elas tendem a inflar as médias observadas, o que é evidenciado também pelos grandes valores de desvio padrão encontrados, demonstrando a grande variabilidade dos dados.

### **Demanda química de oxigênio**

A demanda química de oxigênio (DQO) representa a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de um reagente químico, com o aumento de sua concentração devendo-se principalmente à despejos de origem industrial (CETESB, 2016). É comumente utilizada como um parâmetro de medição indireta da concentração de matéria orgânica de um corpo hídrico.

A legislação brasileira não prevê valores de referência para a DQO, tanto para o enquadramento dos corpos hídricos, como para o despejo de efluentes. Chapman & Kimstach (1996) ponderam que os valores de DQO variam de  $20 \text{ mg.L}^{-1}$  ou menos em águas superficiais não poluídas até valores superiores à  $200 \text{ mg.L}^{-1}$  em águas que recebem despejos de efluentes. Os valores médios das amostras variaram entre  $11 \text{ mg.L}^{-1}$  no ponto 1 e  $17,92 \pm 5,45 \text{ mg.L}^{-1}$  no ponto 9, demonstrando que, de maneira geral, o rio Corumbataí apresenta boa qualidade no que se refere à concentração de matéria orgânica. Os maiores valores mensais encontrados foram  $30 \text{ mg.L}^{-1}$  em junho no ponto 3 e  $47 \text{ mg.L}^{-1}$  em novembro no ponto 10.

Especialmente, nota-se uma leve tendência de aumento da DQO ao longo do rio, com os maiores valores nos pontos 8-10, na área à jusante do município, provavelmente relacionado à despejos de efluentes industriais e em decorrência de atividades agrícolas. A redução no ponto 11 deve-se, provavelmente, ao processo de autodepuração do rio, indicando o início da zona de recuperação.

### **Temperatura**

As variações de temperatura na água podem ter origem natural, como as trocas de calor por radiação, condução e convecção com a atmosfera e solo, bem como podem apresentar origem antrópica, como despejos industriais e águas utilizadas em torres de resfriamento (Von Sperling, 1996). O aumento da temperatura reduz a solubilidade do oxigênio e pode causar alterações nas espécies de peixes em corpos hídricos receptores (Metcalf & Eddy, 2016). De acordo com a regra de Van T'Hoff (à qual existem várias exceções, porém, ainda é comumente utilizada com caráter aproximativo),

uma elevação de temperatura de 10°C pode duplicar a velocidade das reações (Esteves, 2011).

A legislação brasileira não prevê valores de referência para a temperatura no que tange ao enquadramento de corpos hídricos. Entretanto, a Resolução CONAMA n.º. 430/2011 define, para o lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores, que a temperatura deve ser inferior à 40°C, com a variação no limite da zona de mistura não devendo exceder 3°C.

Os valores médios das amostras variaram entre 21,81 ± 2,85°C no ponto 2 e 23,08 ± 2,95°C no ponto 5, indicando uma baixa variação espacial do parâmetro. Como esperado, as diferenças médias sazonais foram mais significativas, mas ainda baixas no geral, com alguns pontos apresentando diferenças entre as estações seca e chuvosa superiores à 5°C, evidenciando a influência das características climáticas da região na temperatura do corpo hídrico. O menor valor mensal encontrado foi de 15,8°C em agosto no ponto 8, enquanto o maior foi de 27,2°C em março no ponto 7.

## Análise Estatística

Para o teste de normalidade, observa-se pela tabela 4 que para as médias de todos os parâmetros analisados em 2019, o valor p obtido pelo teste de Kolmogorov-Smirnov é superior a 0,05, indicando que não há evidência suficiente para se rejeitar a hipótese nula.

De acordo com a tabela 5, adotando significância de 5%, observa-se que não foram encontrados outliers para os valores médios dos parâmetros em 2019.

Os resultados das correlações obtidas para os parâmetros analisados podem então ser observados na tabela 6. Foram discutidas apenas relações que apresentaram coeficiente  $\rho$  acima de 0,5.

**Tabela 4** - Resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov com significância de 5%.

Parâmetros	p	KS
pH	> 0,15	0,146
OD	0,094	0,233
Condutividade	> 0,15	0,163
Temperatura	0,065	0,245
Turbidez	> 0,15	0,114
DQO	0,101	0,23

**Tabela 5** – Resultados do teste de Grubbs com significância de 5%.

Parâmetro	N	Média	Desv. Padrão	Mínimo	Máximo	G*	P
pH	11	7,12	0,07	7,03	7,25	1,82	0,55
OD	11	6,91	1,18	5,08	8,12	1,55	1
Condutividade	11	85,9	38,9	47,3	175,2	2,29	0,07
Temperatura	11	45,09	17	13,5	69,58	1,86	0,48
Turbidez	11	15,13	2,06	11	17,92	2	0,29
DQO	11	22,47	0,52	21,81	23,08	1,27	1

\* : Foi utilizado no cálculo o valor de  $a_i$  que mais se distanciou da média.

**Tabela 6** – Matriz de correlação de Pearson.

Parâmetros	pH	OD	Condutividade	Temperatura	Turbidez	DQO
pH	1					
OD	0,585	1				
Condutividade	-0,332	-0,85	1			
Temperatura	0,272	-0,37	0,528	1		
Turbidez	0,08	-0,23	-0,082	0,101	1	
DQO	-0,19	-0,68	0,445	0,007	0,491	1

A condutividade e o oxigênio dissolvido apresentaram uma forte relação negativa (- 0,85), evidenciando que com o aumento de um, em geral, observa-se a queda do outro. Esse resultado corrobora a análise espacial efetuada para o ano de 2019, onde a condutividade vai aumentando de montante para a jusante da área urbana do município, enquanto que para o OD o efeito é o contrário. Tal comportamento é resultante das atividades antrópicas desenvolvidas na região, que levam ao aporte de resíduos inorgânicos oriundos de atividades minerárias, aumentado a

concentração de íons dissolvidos na água, aumentando assim a condutividade, e também dos despejos orgânicos domésticos e industriais, que aumentam o consumo de oxigênio na água.

A DQO e o oxigênio dissolvido apresentaram relação moderada negativa (- 0,68), indicando que o aumento da DQO pode estar relacionado à queda do OD. A DQO é amplamente utilizada como medida de suscetibilidade da oxidação da matéria orgânica presente na água (Chapman & Kimstach, 1996), e apresentou leve tendência de aumento ao longo do rio, ao contrário do OD,

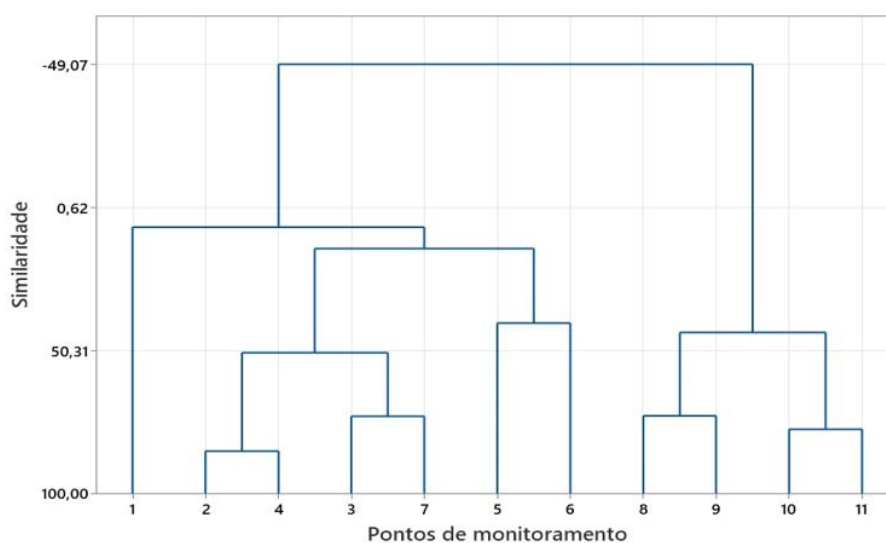
demonstrando assim uma tendência de aumento da matéria orgânica ao longo do rio, diminuindo a concentração de oxigênio dissolvido.

O oxigênio dissolvido e o pH apresentaram uma relação moderada positiva (0,585). Especialmente na estação chuvosa, foi observada a queda dos valores de pH em conjunto com os valores de OD, provavelmente ocasionados pelo aumento do escoamento superficial, levando substâncias orgânicas ácidas para o rio.

Por fim, a temperatura e a condutividade apresentaram uma relação moderada positiva (0,528). Carvalho et al. (2000) também observaram relação semelhante entre os parâmetros, provavelmente ocasionada pelo aumento do aporte de

substâncias inorgânicas devido ao escoamento superficial, tendo em vista que maiores temperaturas se relacionam com os períodos chuvosos, de acordo com o clima da região.

A observação do dendrograma (Figura 5) gerado pela análise de agrupamento hierárquico permite identificar dois agrupamentos principais, sendo um formado pelos pontos 1-7 e outro pelos pontos 8-11, corroborando o que já havia sido constatado, onde as águas à montante da área urbana apresentam características semelhantes entre si e maior qualidade, enquanto que à montante do município, apresentam qualidade inferior, com características semelhantes entre tais pontos.



**Figura 5** – Dendrograma da Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA).

## ANÁLISE TEMPORAL DOS PONTOS 5 E 8 ENTRE 2017 E 2022

Os resultados da avaliação temporal para os pontos em questão são apresentados nas tabelas 7 e 8.

No ponto 5, os valores médios de pH variaram entre  $7,13 \pm 0,18$  em 2017 e  $7,28 \pm 0,4$  em 2018. No ponto 8, os valores variaram entre  $7,02 \pm 0,24$  em 2019 e  $7,2 \pm 0,33$  em 2018. Assim, nota-se que os valores se encaixam nos limites previstos pela legislação.

De maneira geral, os valores apresentaram baixa variabilidade ao longo do tempo, mantendo-se próximos à neutralidade.

Para o ponto 5, as médias de oxigênio dissolvido (Figura 6) dissolvido ficaram entre  $7,24 \pm 0,42 \text{ mg.L}^{-1}$  em 2022 e  $7,95 \pm 0,61 \text{ mg.L}^{-1}$  em 2017. Já no ponto 8, entre  $4,55 \pm 1,37 \text{ mg.L}^{-1}$  em 2021 e  $6,08 \pm 0,79 \text{ mg.L}^{-1}$  em 2017 (Figura 5). Em junho de 2020 foi constatado o valor de  $9,3 \text{ mg.L}^{-1}$ . A concentração de saturação à nível do mar e  $20^\circ\text{C}$  é de  $9,2 \text{ mg.L}^{-1}$  (Von Sperling,

1996), podendo assim indicar grande proliferação de algas no local.

No ponto 8, com exceção de 2022, todos os anos apresentaram ao menos um mês com valores inferiores ao limite estabelecido, chegando a atingir o mínimo de  $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$  em novembro de 2020. Assim, pode-se inferir que o Rio Corumbataí, na região onde se localiza tal ponto, apresentou considerável concentração de matéria orgânica nos anos de 2020 e 2021, e esporadicamente nos anos de 2017, 2018 e 2019. Os menores valores encontrados em 2020 e 2021 provavelmente se devem à intensificação de atividades antrópicas nesses anos (se normalizando no ano seguinte), visto que o ponto se insere na zona urbana de Rio Claro. Podem então ser atribuídos à despejos orgânicos de origem doméstica e/ou industrial, acarretando em um aumento da concentração de matéria orgânica na água.

**Tabela 7** – Médias e desvios padrões dos parâmetros analisados no ponto 5 entre 2017 e 2022 (Elaborado pelos autores com dados de BRK Ambiental, 2023).

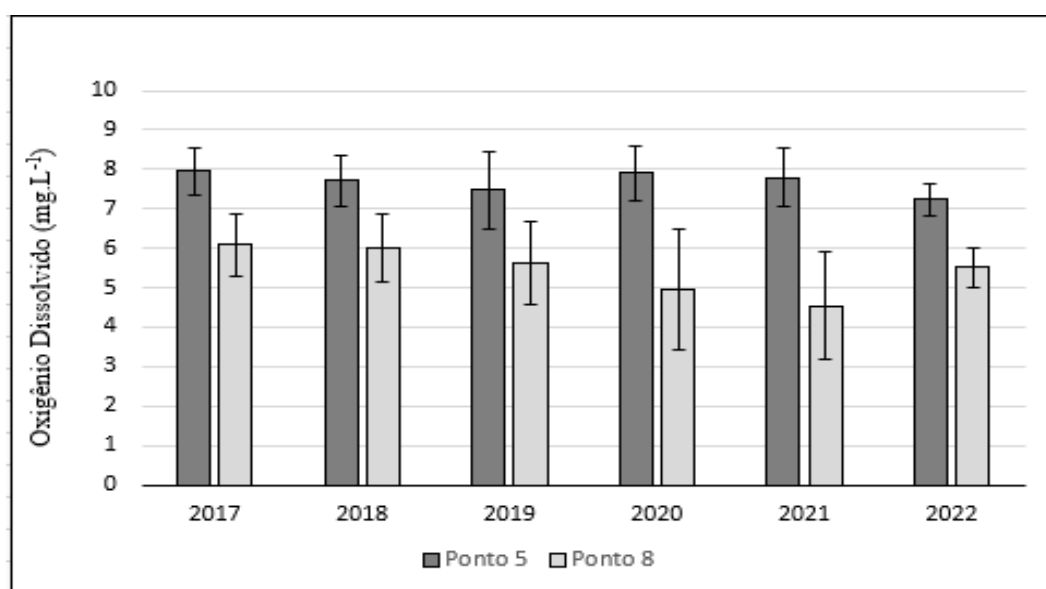
Parâmetros		Ano					
		2017	2018	2019	2020	2021	2022*
pH	Média	7,13	7,28	7,14	7,24	7,3	7,28
	Desv. Pad.	0,18	0,4	0,28	0,27	0,22	0,11
Oxigênio Dissolvido	Média	7,95	7,72	7,48	7,92	7,8	7,24
	Desv. Pad.	0,61	0,65	0,97	0,7	0,74	0,42
Condutividade	Média	51,17	69,42	66,67	64,33	52,83	57,4
	Desv. Pad.	17,16	29,23	22,96	10,25	7,79	20,55
Turbidez	Média	20,58	21,83	56,83	31,08	31,92	34,4
	Desv. Pad.	5,42	8,82	94,15	20,71	32,26	14,35
DQO	Média	15	14,92	12,5	13,17	11,58	11,6
	Desv. Pad.	6,25	7,93	5,2	5,08	1,44	0,89
Temperatura	Média	22,16	21,68	23,08	21,84	22,14	23,84
	Desv. Pad.	2,98	2,83	2,95	3,46	3,49	1,62

\* : Dados mensais de janeiro a maio.

**Tabela 8** - Médias e desvios padrões dos parâmetros analisados no ponto 8 entre 2017 e 2022 (Elaborado pelos autores com dados de BRK Ambiental, 2023).

Parâmetros		Ano					
		2017	2018	2019	2020	2021	2022*
pH	Média	7,19	7,2	7,03	7,04	7,09	7,12
	Desv. Pad.	0,19	0,33	0,24	0,18	0,27	0,16
Oxigênio Dissolvido	Média	6,08	6	5,62	4,96	4,54	5,52
	Desv. Pad.	0,79	0,85	1,04	1,55	1,37	0,51
Condutividade	Média	143,58	218,58	95,92	103,42	148,5	158,4
	Desv. Pad.	78,68	163,83	16,75	29,08	57,03	24,61
Turbidez	Média	43,83	34,75	67,25	52,33	32,67	113,2
	Desv. Pad.	22,36	14,53	76,64	41,16	32,49	162,55
DQO	Média	24,73	23,13	16,83	14,7	26,1	28
	Desv. Pad.	9,79	16,57	4,37	2,21	26,68	13,08
Temperatura	Média	21,62	21,95	22,2	22,24	21,6	23,52
	Desv. Pad.	2,65	2,27	3,51	3,25	3,49	2,23

\* : Dados mensais de janeiro a maio.



**Figura 6** – Médias e desvios padrões do oxigênio dissolvido nos pontos 5 e 8 entre os anos de 2017 e 2022 (Elaborado pelos autores com dados de BRK Ambiental, 2023).

Os valores médios de condutividade no ponto 5 ficaram entre  $51,17 \pm 17,16 \mu\text{S.cm}^{-1}$  em 2017 e  $69,42 \pm 29,23 \mu\text{S.cm}^{-1}$  em 2018, demonstrando adequação com a referência estabelecida pela

CETESB. Já no ponto 8, variaram entre  $95,92 \pm 16,75 \mu\text{S.cm}^{-1}$  em 2019 e  $218,58 \pm 163,83 \mu\text{S.cm}^{-1}$  em 2018, com destaque para o mês de abril de 2018, que apresentou um valor de  $658 \mu\text{S.cm}^{-1}$ .

Assim, o único ano que apresentou uma média abaixo do referencial estabelecido foi 2019, indicando o comprometimento da qualidade da água nesse ponto.

Os altos valores do ponto 8 provavelmente se devem à despejos domésticos/industriais e a resíduos de atividades agrícolas e de extração mineral, tendo em vista que ocorre extração de argila nas proximidades do ponto e também se desenvolve a monocultura de cana-de-açúcar em sua extensão à esquerda e à montante. Esses resíduos chegam ao corpo hídrico pelo processo de escoamento superficial, agravado em áreas urbanas devido à maior impermeabilização do solo (TUCCI, 1997). O valor consideravelmente maior observado em 2018 provavelmente deve-se à intensificação das atividades antrópicas na região nesse ano, em especial nos meses de abril e julho.

Em relação à turbidez, os valores médios variaram  $20,58 \pm 5,42$  NTU em 2017 e  $56,83 \pm 94,15$  NTU em 2019 no ponto 5 e entre  $32,67 \pm 32,49$  NTU em 2021 e  $113,2 \pm 162,55$  NTU em 2022 no ponto 8. Assim, com exceção de 2022 no ponto 8, todos os anos apresentaram valores médios dentro do limite estabelecido na legislação. Entretanto notam-se picos isolados de turbidez em determinados meses, provavelmente ocasionados pela ocorrência de chuvas nos dias anteriores próximos à coleta. Os maiores valores encontrados no ponto 8 foram de 160 NTU em janeiro de 2020, 286 NTU em março de 2019 e 403 NTU em fevereiro de 2022. Assim, a alta média encontrada no ano de 2022 deve-se a esse pico, tendo em vista que os outros meses apresentaram valores relativamente baixos. Já no ponto 5, observou-se, em fevereiro de 2019, um

valor de 351 NTU.

Pode-se aferir então, de maneira geral, que os pontos apresentam uma boa qualidade no que se refere à presença de sólidos em suspensão na água. Entretanto, a existência desses picos em todos os pontos pode indicar a ocorrência de processos erosivos nas margens do rio, aumentando o escoamento superficial e o aporte de substâncias poluidoras, principalmente em eventos de precipitação.

Para a DQO, no ponto 5, as médias ficaram entre  $11,6 \pm 0,89$  mg.L<sup>-1</sup> em 2022 e  $15 \pm 6,25$  mg.L<sup>-1</sup> em 2017. Há no ponto 8, entre  $14,7 \pm 2,22$  mg.L<sup>-1</sup> em 2020 e  $28,0 \pm 13,08$  mg.L<sup>-1</sup> em 2022. Os maiores valores mensais no ponto 8 foram de 63 mg.L<sup>-1</sup> em outubro de 2018 e 99 mg.L<sup>-1</sup> em março de 2021.

Assim, com exceção dos anos de 2019 e 2020, todos os outros apresentaram valores levemente acima do recomendado pela literatura para águas não poluídas, permitindo concluir que água no ponto 8 apresenta uma concentração de matéria orgânica de baixa a média, com alguns picos consideráveis em meses específicos. Esses valores um pouco mais elevados provavelmente se devem à despejos industriais e resíduos de atividades agrícolas, que ocorrem na área urbana onde o ponto se insere e nas áreas à montante, respectivamente.

Por fim, em relação à temperatura, os valores médios das amostras variaram entre  $21,6 \pm 3,46$ °C em 2021 e  $23,52 \pm 2,23$ °C em 2022 no ponto 8 e, no ponto 5, entre  $21,68 \pm 2,83$ °C em 2017 e  $23,08 \pm 2,95$ °C em 2019 demonstrando assim que a variação da temperatura foi relativamente baixa ao longo do tempo, característica de regiões de clima tropical.

## CONCLUSÕES

Os parâmetros pH e temperatura foram os únicos que apresentaram conformidade com a legislação ou com valores de referência estabelecidos pela literatura em todos os pontos (2019) e em todos os anos (no caso dos pontos 5 e 8).

O oxigênio dissolvido apresentou médias acima do permitido em todos os pontos em 2019, entretanto, em alguns meses, foram constatados valores condizentes com rios de classes 3 e 4. No ponto 8, as médias ficaram abaixo do permitido em 2020 e 2021. A turbidez apresentou médias abaixo do valor de referência em todos os pontos em 2019 e ficou acima em 2022 no ponto 8, entretanto, foram constatados

picos em meses específicos em quase todos os pontos, chegando a atingir mais de 600 NTU. A condutividade apresentou valores médios acima do referencial da CETESB nos pontos 9-11 em 2019 e em todos os anos (com exceção de 2019) no ponto 8. A DQO apresentou médias relativamente baixas em todas as medições, entretanto, em meses específicos no ponto 8 chegou a atingir valores consideravelmente elevados, podendo indicar alguma atividade isolada naquele período.

Assim, de maneira geral, é possível inferir que a qualidade da água do Rio Corumbataí está fortemente relacionada com a localização dos

pontos e o respectivo uso e ocupação do solo e em menor escala, à sazonalidade. As águas dos pontos 1-7, a montante do município e próximas principalmente de áreas de pastagem e de atividades agrícolas, apresentam melhor qualidade em relação aos parâmetros analisados, enquanto que as águas relativas aos pontos 8-11, localizadas a jusante do município e próximas a áreas urbanas e de atividades de extração mineral, apresentam qualidade inferior.

Pode-se atribuir a queda na qualidade da água a jusante do município principalmente a despejos clandestinos de origem doméstica e industrial e ao aporte de resíduos de atividades minerárias/agrí-

colas, que chegam ao rio através dos processos de escoamento superficial e lixiviação, que podem ser agravados pela erosão dos solos. A precipitação, em menor escala, também apresenta influência na qualidade da água, pois nota-se um claro aumento da turbidez e redução do oxigênio dissolvido em períodos chuvosos em relação a períodos de seca.

Desse modo, destaca-se a importância de um monitoramento contínuo dos parâmetros de qualidade da água, visando identificar e corrigir as fontes de poluição que contribuem para a degradação do corpo hídrico, de forma a atender a legislação vigente.

## REFERÊNCIAS

- ARMAS, E.D.; MONTEIRO, R.T.R.; ANTUNES, P.M.; SANTOS, M.A.P.F. DOS; CAMARGO, P.B.; ABARKELI, R.B. Diagnóstico espaço-temporal da ocorrência de herbicidas nas águas superficiais e sedimentos do Rio Corumbataí e principais afluentes. *Quím. Nova*, v. 30, n. 5, p. 1119–1127, 2007.
- BLASIUS, J.P.; SANTOS, P.H. DOS; MORAES, R.X.L. DE; TOLEDO, A.C. DE; GARCIA, M.L. Avaliação temporal da qualidade das águas superficiais e do tratamento de esgoto de Rio Claro -SP. *Revista Geociências*, v. 41, n. 4, p. 963-974, 2022.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Lei Federal n.º 9433, de 8 de janeiro de 1977**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei n.º 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n.º 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disp. em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm)>. Acesso em: 08 nov. 2023.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disp. em :<[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2\\_005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfcdaltrd\\_res\\_393\\_2007\\_3\\_97\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2_005_classificacao_corpos_agua_rtfcdaltrd_res_393_2007_3_97_2008_410_2009_430_2011.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2023.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.º 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disp. em: <[https://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=627](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=627)>. Acesso em: 03 nov. 2023.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; TRINDADE, J.K. DA. Ajustes de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 12, p. 157-166, 2004.
- CARVALHO, A.R.; SCHLITTLER, F.H.M.; TORNISIELO, V.L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. *Quím. Nova*, v. 23, n. 5, p. 618 - 622, 2000. CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Apêndice E: significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. São Paulo, 2016. Disp. em: <<https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2018/03/Apendice-E-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-Variaveis-de-Qualidade-2016.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2023.
- CHAPMAN, D.; KIMSTACH, V. Selection of water quality variables. In: CHAPMAN, D. (Ed.). **Water quality assessments - a guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring**. London: UNESCO/WHO/UNEP, 2ª ed. 565 p., 1996.
- CONCEIÇÃO, F.T. DA & BONOTTO, D.M. Relações hidroquímicas aplicadas na avaliação da qualidade da água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP). *Geochimica Brasiliensis*, v. 16, n. 1, p. 1-21, 2002.
- ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 3ª ed., 826 p., 2011.
- FIGUEIREDO FILHO, D.B. & SILVA JUNIOR, J.A. Desvendando os mistérios da correlação de Pearson (r). *Revista Política Hoje*, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.
- GRUBBS, F.E. Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples. *Technometrics*, v. 11, n. 1, p. 1– 21, 1969.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério de Planejamento. **Orçamento e Gestão. Brasília, 2022**. Disp. em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/rio-claro/panorama>>. Acesso em 09 nov. 2023.
- JANZEN, J.G.; SCHULZ, H.E.; LAMON, A.W. Medidas da concentração de oxigênio dissolvido na superfície da água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, p. 278-283, 2008.
- LIMA, M.M. **Análise multitemporal dos impactos da expansão minerária no município de Rio Claro, SP**. Medianeira, 2018. 62 p. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- METCALF, L. & EDDY, H.P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. Porto Alegre: AMGH, 5ª ed., p. 57-176, 2016.
- MOINA NETO, J.M.; MOINA, G.C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. *Quím. Nova*, v. 21, n. 4, p. 467-469, 1997.
- MOURA, V.M.M. DE; BRITO, S.M.O.; SILVA, A.B. Avaliação dos Parâmetros Indicadores da Qualidade da Água para Verificar o Estado de Conservação das Represas do Rio Ipitanga, Salvador, BA, Brasil. *Revista Virtual de Química*, v. 5, n. 5, p. 869-890, 2013.
- OLIVA, A. & KIANG, C.H. Caracterização hidroquímica de águas subterrâneas no município de Rio Claro-SP. *Águas Subterrâneas*, [S. I.], n. 1, 2002.
- PALMA-SILVA, G.M. DE. **Relação dos indicadores microbiológicos com outros parâmetros limnológicos no rio Corumbataí, SP, no intuito de propor um modelo matemático para gestão ambiental**. Rio Claro, 2006. 175 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista.

- PENTEADO, M.M. **Geomorfologia do Setor Centro-Ocidental da Depressão Periférica Paulista**. São Paulo, 1976. 86 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Instituto de Geografia-USP.
- PESSOA, Z.B. **Efetivação do enquadramento de corpos d'água para fins de consumo humano em regiões semiáridas: avaliação conforme resolução CONAMA 357/05 e portaria MS 2914/2011**. Salvador, 2013. 123 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento) - Universidade Federal da Bahia. Disp. em: <<https://repositorio.ufba.br/handle/ri/14150>>. Acesso em: 22 out. 2022.
- PMRC – PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO. **Diagnóstico Ambiental e desenvolvimento de sistemas de implementações de projetos de recuperação da qualidade dos corpos d'água - Volume I – Levantamento básico do Município**. Rio Claro, São Paulo, Brasil, v. 1, 2014. Disp. em: <<https://www2.rioclaro.sp.gov.br/pd/arquivos/VolumeILevantamento.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2023.
- PMRC – PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO. **Diagnóstico Ambiental e desenvolvimento de sistemas de implementações de projetos de recuperação da qualidade dos corpos d'água - Volume III – Solo, vegetação e sistema viário**. Rio Claro, São Paulo, Brasil, v. 3, 2014. Disp. em <<https://www2.rioclaro.sp.gov.br/pd/arquivos/VolumeIIISolo.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2023.
- RIO CLARO. Lei Complementar nº. 128, de 07 de dezembro de 2017. **Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento do município de Rio Claro**. Rio Claro, Câmara Municipal, 2017. Disp. em: <<https://www2.rioclaro.sp.gov.br/pd/arquivos/2018/LeiComplementar128.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2023.
- SÃO PAULO. **Decreto nº. 10755, de 22 de novembro de 1977**. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976 e dá providências correlatas. Disp. em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1977/decreto-10755-22.11.1977.html>>. Acesso em: 20 out. 2023.
- SAWYER, C.N.; MCCARTY, P.L.; PARKIN, G.F. **Chemistry for Environmental and Engineering Science**. New York: McGraw Hill Inc., 5ª ed., p. 518-522, 2003.
- SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático, Serviços de água e esgoto, 2022**. Disp. em: <[https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnos-ticos\\_snis](https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnos-ticos_snis)>. Acesso em: 07 nov. 2023.
- TUCCI, C.E.M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepções. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997.
- VALENTE, R.O.A. & VETTORAZZI, C.A. Análise da estrutura da paisagem na Bacia do Rio Corumbataí, SP. **Scientia Forestalis**, v. 62, p. 114-129, 2002.
- VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios: princípios do tratamento biológico de águas residuais**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1ª ed., v. 7, p. 302-316, 2007.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2ª ed., v. 1, p. 11-50, 1996.
- WHO – **World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality**. 2ª ed., v. 1 – Recommendations, 1993.
- XAVIER, F.V. **Métodos geoeletricos aplicados ao diagnóstico ambiental subsuperficial do cemitério Municipal de Rio Claro, SP**. Rio Claro, 2015. 158 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- ZAINE, J.E. **Geologia da formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP)**. Rio Claro, 1994. 90 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- ZAINE, J.E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. Rio Claro, 2000. 149 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

*Submetido em 24 de novembro de 2023  
Aceito para publicação em 13 de março de 2024*