



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO JOSÉ JOAQUIM, SAPUCAIA DO SUL-RS

WATER QUALITY ASSESSMENT OF JOSÉ JOAQUIM SUB-BASIN, SAPUCAIA DO SUL-RS

(Recebido em 24-04-2021; Aceito em 07-09-2021)

Anne Krummenauer

Engenheira Ambiental e Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil
anne.krummenauer@ufrgs.br

Luis Alberto Basso

Doutor em Geografia Física e Ordenação do Território pela Universidad de Zaragoza
Professor de Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil
luisbasso1965@gmail.com

Resumo

As características da qualidade da água de um curso fluvial refletem as condições ambientais da bacia hidrográfica, indicando fontes de poluição e apontando caminhos para a recuperação dos recursos hídricos. Com o intuito de contribuir para o avanço no tratamento das águas urbanas no Brasil, e, em especial, do Rio dos Sinos, o presente estudo teve o objetivo de avaliar a qualidade da água da Sub-Bacia do Córrego José Joaquim, em Sapucaia do Sul (RS). O córrego foi dividido em seis pontos de avaliação, nomeados, de montante para jusante, de PR, P1, P2, P3, P4 e P5. A qualidade da água foi obtida em duas campanhas de monitoramento (n.º 1, em agosto de 2019, e n.º 2, em março de 2020), através da avaliação de 16 parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água. Conforme a Resolução Conama n.º 357, de 17 de março de 2005 e suas alterações, na campanha n.º 1, as águas dos pontos amostrais foram compatíveis com a Classe 1 (PR e P2), Classe 2 (P5), Classe 3 (P1 e P4) e Classe 4 (P3), já na campanha n.º 2, as águas de todos os pontos foram enquadradas na Classe 4. Os piores resultados relacionaram-se com os parâmetros coliformes fecais, fosfato total e condutividade elétrica, o que indica poluição por esgotos domésticos e, possivelmente, por efluentes industriais. O desfecho da avaliação da qualidade das águas aponta para a deterioração da qualidade de montante para jusante, embora o declínio não seja constante devido a uma melhora registrada no último ponto de avaliação (P5). Deste modo, o tratamento dos esgotos domésticos apresenta-se como indispensável para a melhora na qualidade da água na Sub-Bacia Hidrográfica do Córrego José Joaquim.

Palavras-chave: Monitoramento; Poluição hídrica; Rios urbanos; Rio dos Sinos.

Abstract

The characteristics of the water quality of a stream reflect the environmental conditions of the hydrological basin, indicating the sources of pollution and pointing out ways for recovery for water resources. To contribute to the improvement in urban water treatment in Brazil, and especially in Sinos River, the present research aimed to assess the water quality of the José Joaquim Stream Sub-Basin, in Sapucaia do Sul (RS). The stream was divided into six assessment points, named, from upstream to downstream, PR, P1, P2, P3, P4, and P5. The water quality was obtained in two monitoring campaigns (no. 1, August, 1st 2019, and no. 2, March 2nd 2020), evaluating 16 physic-chemical and bacteriological parameters of the water. According to Conama Resolution no. 357, from 17th March, 2005 and its changes, in the campaign no. 1, the waters of the sampling points were compatible with Class 1 (PR and P2), Class 2 (P5), Class 3 (P1 and P4) and Class 4 (P3), in the campaign no. 2, the waters of all points were classified in Class 4. The worst results were related to fecal coliform, total phosphate, and electrical conductivity parameters, which indicates pollution by domestic sewage and possibly by industrial effluents. The water quality assessment results point to a decline in quality from upstream to downstream, although the decline is not constant due to an improvement recorded at the last assessment point (P5). Therefore, the treatment of domestic sewage is indispensable for the improvement in water quality in the José Joaquim Stream Sub-Basin.

Keywords: *Monitoring; Water Pollution; Urban Rivers; Sinos River.*

Introdução

As atividades antropogênicas, com o agravante da urbanização acelerada e da ampliação e diversificação de elementos poluidores, constituem-se como as grandes responsáveis pela degradação dos ecossistemas hídricos. As características da qualidade da água refletem as condições ambientais da bacia hidrográfica, desse modo, ao conhecê-las, é possível detectar alterações provocadas pela poluição e ampliar o conhecimento ecológico do ecossistema hídrico (SOUZA; GASTALDINI, 2014).

O monitoramento da qualidade das águas superficiais integrado e contínuo, independentemente do tamanho da bacia, apresenta-se, nesse contexto, como um importante instrumento de gestão adequada dos recursos hídricos (NAIME; FAGUNDES, 2005). Esse monitoramento propicia a obtenção de dados quali-quantitativos da água que evidenciam requisitos de qualidade traduzidos em função dos usos previstos, constantes na legislação, como a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) n.º 357 (FIA *et al.*, 2015), de 17 de março de 2005, e suas alterações vigentes, e que indicam as prováveis fontes de poluição e o impacto das medidas de recuperação ambiental adotadas na bacia.

No Rio Grande do Sul (RS) encontram-se dois dos rios mais poluídos do Brasil: o rio Gravataí, quarto mais poluído, e o Rio dos Sinos, quinto mais poluído, de acordo com levantamento de índices da qualidade da água médios anuais de 22 corpos d'água, no período de 1992 a 2015, para os Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (DHS) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBGE, 2017). Ambos os rios se vinculam à Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), capital do estado, uma área de densa urbanização e atividade econômica intensa.

Na parte inferior da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (BHRS), há uma evidente perda de qualidade das águas superficiais, visto que as águas estão classificadas como Classe 4, segundo a Resolução Conama n.º 357 e suas alterações vigentes (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER - FEPAM, [200-]), inadequadas para diversos usos, inclusive para a captação e abastecimento de água potável. No ano de 2006, essa degradação culminou na mortandade de mais de 80 toneladas de peixes no Rio dos Sinos, um evento extremo, mas que, infelizmente, não representa um caso isolado (GONZATTO, 2017).

Apesar da importância em se controlar a qualidade das águas, ainda são poucos os cursos fluviais que recebem algum tipo de monitoramento físico-químico e bacteriológico (NAIME; NASCIMENTO, 2009b). Na parte inferior da BHRS, estudos esporádicos e em âmbito acadêmico apontaram para a contaminação por esgotos domésticos e, em alguns casos, também por efluentes industriais, em córregos que drenam áreas urbanas, a saber: Pampa (Naime e Nascimento, 2009ab, e Zeni *et al.*, 2016) e Luiz Rau (Heck *et al.*, 2017), ambos em Novo Hamburgo, Portão (Naime e Fagundes, 2005), em Portão, e Schmidt (Costa *et al.*, 2014, e Pol *et al.*, 2019), em Campo Bom. O córrego José Joaquim, em Sapucaia do Sul, não tem seus parâmetros físico-químicos monitorados.

Assim, o objetivo do trabalho é monitorar a qualidade da água da Sub-Bacia Hidrográfica do Córrego José Joaquim, com a determinação de parâmetros da qualidade da água em seis pontos de controle distribuídos ao longo do curso principal. Os resultados possibilitarão compreender a situação da qualidade da água do córrego e de seus afluentes, o que irá subsidiar o planejamento e as ações de recuperação ambiental da sub-bacia pelos órgãos responsáveis.

Materiais e Métodos

Foram coletadas amostras de água em duas campanhas, a n.º 1, em 15 de agosto de 2019, período de cheia, e a n.º 2, em 04 de março de 2020, período de estiagem. As amostragens ocorreram em seis pontos distribuídos ao longo da sub-bacia (figura 1), a saber: Ponto de Referência (PR) — às coordenadas 29°49'36,9" Sul e 51°06'56,2" Oeste, a jusante da Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Morro Sapucaia, cuja área de drenagem apresenta situação ambiental próxima à original, não degradada; Ponto 1 (P1) — às coordenadas 29°49'2,2" Sul e 51°07'04,4" Oeste, local onde começa a ser verificada alguma ocupação na área de drenagem; Ponto 2 (P2) — às coordenadas 29°49'28,2" Sul e 51°08'19,6" Oeste, onde o córrego escoia em leito canalizado a céu aberto na área urbana; Ponto 3 (P3) — às coordenadas 29°49'18,8" Sul e 51°08'31,9" Oeste, logo após trecho de aproximadamente 450 metros no qual o córrego é margeado por moradias e passa por processo final de canalização a céu aberto, obra de revitalização empreendida pela Prefeitura; Ponto 4 (P4) — às

coordenadas 29°48'46,5" Sul e 51°09'48,1" Oeste, em trecho urbano em que o córrego encontra-se canalizado a céu aberto; Ponto 5 (P5) — às coordenadas 29°48'26,9" Sul e 51°10'38,1" Oeste, onde o córrego volta a escoar em leito natural e em área mesclada por urbanização e indústrias, até o encontro com o Rio dos Sinos. Os pontos PR e P1 estão localizados em um afluente do córrego José Joaquim, o córrego da Palmeira, e os demais, no córrego José Joaquim.

Figura 1: Fotografias dos pontos de monitoramento da qualidade da água.



Fonte: Os autores (2019, 2020).

Os pontos amostrais foram selecionados de acordo com características homogêneas de uso e ocupação do solo, distribuição de possíveis pontos de poluição e acessibilidade à amostragem. A

coleta de amostras foi do tipo manual e realizada próxima à superfície em função da pequena profundidade do curso fluvial. O procedimento de amostragens, que envolve o acondicionamento, a coleta, a preservação e o transporte de amostras, foi realizado pelos pesquisadores seguindo as orientações do laboratório credenciado Fepam, responsável pelas análises.

Os parâmetros foram escolhidos, inicialmente, por serem bons identificadores da poluição que pode estar presente no córrego, cujas fontes principais são os esgotos domésticos e efluentes industriais. As avaliações foram distribuídas temporalmente para abranger uma amostragem no período de maior e outra no de menor descarga hídrica na BHRS, pois a capacidade de diluição da água pode reduzir a concentração dos poluentes no córrego.

Na primeira campanha, período de cheia, foram analisadas 11 características físicas, químicas e biológicas da água, seguindo métodos analíticos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA, 2017) ou outros métodos reconhecidos, a saber: turbidez, norma *Standard Methods* 2130 B (APHA, 2017); demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), norma *Standard Methods* 5210 B (APHA, 2017); coliformes fecais, norma *Standard Methods* 9223 B (APHA, 2017); fosfato total, norma NBR 12772:1992 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT, 1992); oxigênio dissolvido (OD), norma *Standard Methods* O C (APHA, 2017); e seis metais pesados (cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel e zinco), norma *Standard Methods* 3111 B (APHA, 2017). Os metais foram avaliados apenas no PR e no P5, como objetivo de determinar se haveria contaminação por metais pesados devido às atividades industriais desenvolvidas na sub-bacia, localizadas principalmente na parte final do córrego, e poder comparar com a situação mais próxima à original. Considerando o período entre a amostragem (15 de agosto de 2019) e os cinco dias que a antecederam, foram registrados 4,8 mm de chuva no dia 10 e 13,40 mm no dia 12, totalizando 18,2 mm de precipitação registrados pela estação hidrológica automática “Arroio José Joaquim” (código 432000814H), localizada na ponte do Bairro Cohab.

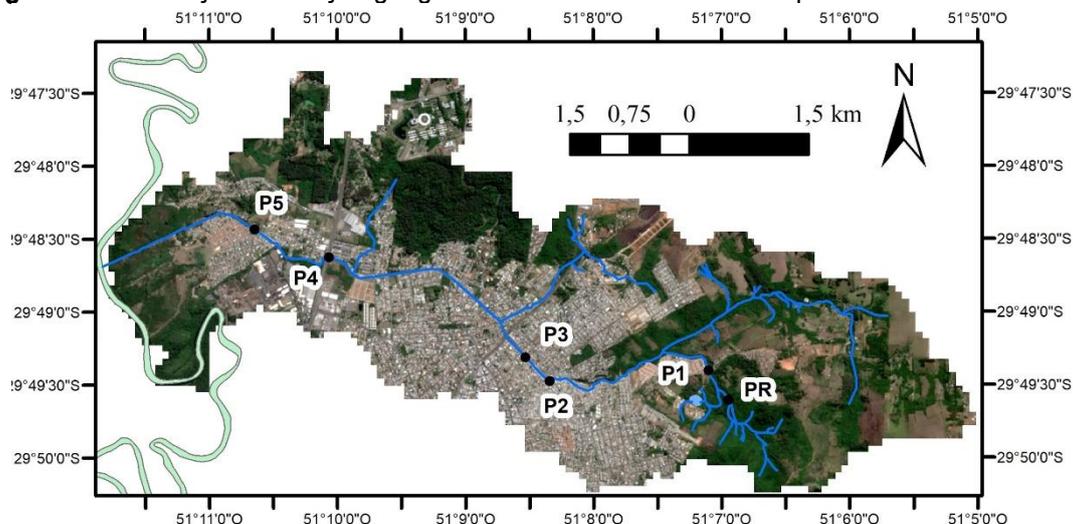
Na segunda campanha, período de estiagem, foram acrescentadas seis determinações a todos os pontos de avaliação, pois foi considerado importante ampliar o número de parâmetros para se obter um panorama maior da poluição, cujos indícios já eram percebidos com os primeiros resultados analíticos. Foram seguidos os métodos analíticos normatizados para cada parâmetro, a saber: potencial hidrogeniônico (pH), norma NBR 9251:1986 (ABNT, 1986); nitrogênio amoniacal, norma EPA 350.2 (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY- USEPA, 1974); sólidos totais, *Standard Methods* 2540 B (APHA, 2017); e condutividade elétrica e temperatura, cuja medição foi feita *in loco*, com condutivímetro portátil digital com compensação automática de temperatura, modelo CD-4303 da marca Lutron. No dia da amostragem (4 de março de 2020) e nos cinco dias que a

antecederam, não foram registradas precipitações pela estação hidrológica automática “Arroio José Joaquim”.

Área de estudo

Localizada entre as latitudes 29°47'20,98" e 29°50'14,55" Sul e as longitudes 51°11'47,06" e 51°5'0,76" Oeste, figura 2, a Sub-Bacia do Córrego José Joaquim possui 29,16 km² de área e está inserida em dois municípios gaúchos: Sapucaia do Sul (95% da área) e São Leopoldo (5% da área). A maioria das nascentes do córrego José Joaquim situa-se na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Fazenda Morro Sapucaia e, junto com seus afluentes, atravessa a zona urbana do município de Sapucaia do Sul, cuja população em 2019 foi estimada em 147.075 indivíduos, onde 99,63% deles habita a zona urbana (IBGE, 2020).

Figura 2: Localização e situação geográfica da área de estudo e dos pontos de monitoramento.



Legenda

- Córrego José Joaquim e afluentes
- Açúde
- Rio dos Sinos
- Pontos de Avaliação

Sistemas de coordenadas: Projeção UTM 22S

Datum SIRGAS 2000

Fonte: USGS (2020), Fepam (2005abc) e Weber; Hasenack e Ferreira (2004).

Elaboração: os autores (2021)

Fonte: Os autores (2021).



O relevo do município de Sapucaia do Sul está inserido na Depressão Periférica do RS. A sub-bacia atravessa o município de Leste a Oeste, passando por: elevações dos morros testemunhos de arenito Botucatu a Leste, como o Morro Sapucaia; colinas onduladas na porção central; e planícies

aluviais associadas aos córregos no médio e baixo curso em direção a Oeste, até o Rio dos Sinos (GONÇALVES, 2013).

Na Sub-Bacia Hidrográfica do Córrego José Joaquim, encontram-se rochas sedimentares areníticas e lamíticas do Grupo Rosário do Sul (Formações Santa Maria e Sanga do Cabral), Formação Botucatu, Depósitos Aluvionares Atuais e Colúvio Aluviais. Há predominância do argissolo vermelho-amarelo (derivado das formações Botucatu e Rosário do Sul), e alguma presença de planossolo eutrófico, solo típico de áreas baixas e inundáveis, próximo à confluência com o Rio dos Sinos (relacionado aos Depósitos Aluvionares Atuais). Ambos os tipos de solo são suscetíveis à erosão hídrica e demandam cuidados para proteção e evitar transtornos no uso e ocupação (GONÇALVES, 2013). Parte do município e da sub-bacia está localizada em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (CONSÓRCIO PÚBLICO DE SANEAMENTO BÁSICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOS SINOS - PRÓ-SINOS, 2014).

A temperatura média anual de Sapucaia do Sul está entre 18,1 e 19,0°C, com a temperatura média do mês mais quente superior a 24°C (janeiro) e a temperatura média do mês mais frio em torno de 13°C (julho). A precipitação média anual é de 1497,9 mm (WREGE *et al.*, 2012), que ocorre bem distribuída ao longo dos meses. Ainda assim, conforme dados da estação fluviométrica Campo Bom (código 87380000), localizada no Rio dos Sinos, é possível identificar um período de maior descarga hídrica nos cursos fluviais, de junho a outubro, e de menor disponibilidade hídrica, de novembro a maio (SIMON; PICKBRENNER; MARCUZZO, 2017).

Quanto à vegetação, a área de estudo está em uma zona de tensão ecológica entre os biomas Mata Atlântica e Pampa (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE-ICMBIO, 2007). Entretanto, a vegetação original foi quase completamente substituída por edificações, agricultura, pecuária e/ou eucaliptos, e a vegetação ripária também está em estágio avançado de degradação, sendo encontrada de maneira rarefeita e apenas alguns trechos.

Apesar do município de Sapucaia do Sul ser atendido por uma estação de tratamento de esgoto (ETE) no município vizinho, a ETE Novo Esteio, grande parte dos despejos residenciais é lançada na rede pluvial e córregos, seja *in natura* ou após um tratamento primário (SAPUCAIA DO SUL, 2014). Como em outros municípios da RMPA, a coleta de esgotos para tratamento é precária: alcançou apenas 7,3% da população (10257 pessoas) em 2019 (BRASIL, [2020]). Além disso, outras fontes potenciais de poluição na sub-bacia são: drenagem urbana e resíduos destinados incorretamente que têm origem na área urbana, na parte central; drenagem da área rural, na parte superior, onde há plantações e criação de animais; e efluentes industriais não tratados, na parte inferior, onde estão instalados lanifícios, uma recicladora de metal, indústrias de bebidas, entre outras.

Resultados e discussões

Para a avaliação da qualidade das águas da Sub-Bacia do Córrego José Joaquim no período deste estudo, utilizaram-se os limites e/ou as condições estabelecidas para diferentes classes de águas doces (quadro 1), segundo a Resolução Conama n.º 357, de 17 de março de 2005, e suas alterações vigentes. Os resultados das análises obtidos dos pontos de água amostrados estão apresentados no quadro 2 e detalhados a seguir.

Quadro 1: Limites de concentração de substâncias nas águas doces.

Parâmetro	Unidade	Classe de águas doce*			
		1	2	3	4
Coliformes fecais	NMP 100mL ⁻¹	200	1.000	2.500 para contato secundário, 1.000 para dessedentação animal e 4.000 para demais usos.	
Condutividade elétrica	µS cm ⁻¹	Não especificado.			
DBO ₅	mg L ⁻¹ O ₂	3	5	10	
Fosfato total	mg L ⁻¹ PO ₄	Não especificado.			
Fósforo	mg L ⁻¹ P	0,1	0,1	0,15	
Nitrogênio amoniacal	mg L ⁻¹ N-NH ₃	3,7 para pH ≤ 7,5; 2,0 para 7,5 < pH ≤ 8,0; 1,0 para 8,0 < pH ≤ 8,5; 0,5 para pH > 8,5	3,7 para pH ≤ 7,5; 2,0 para 7,5 < pH ≤ 8,0; 1,0 para 8,0 < pH ≤ 8,5; 0,5 para pH > 8,5	13,3 para pH ≤ 7,5; 5,6 para 7,5 < pH ≤ 8,0; 2,2 para 8,0 < pH ≤ 8,5; 1,0 para pH > 8,5	
Oxigênio dissolvido	mg L ⁻¹ O ₂	**6	**5	**4	**2
pH	---	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Temperatura	°C	Não especificado.			
Turbidez	UNT	40	100	100	
Cádmio	mg L ⁻¹ Cd	0,001	0,001	0,01	
Chumbo	mg L ⁻¹ Pb	0,01	0,01	0,033	
Cobre	mg L ⁻¹ Cu	0,009	0,009	0,013	
Cromo total	mg L ⁻¹ Cr	0,05	0,05	0,05	
Níquel	mg L ⁻¹ Ni	0,025	0,025	0,025	
Zinco total	mg L ⁻¹ Zn	0,18	0,18	5	

*Classe 1 - águas destinadas para: a) abastecimento doméstico após tratamento simplificado; b) irrigação de hortaliças consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; c) proteção de comunidades aquáticas; e d) usos menos exigentes. Classe 2 - águas destinadas para: a) abastecimento doméstico após tratamento convencional; b) aquicultura e atividade de pesca; c) irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e parques, jardins, campos de esporte e lazer com contato direto; d) proteção das comunidades aquáticas; e) recreação de contato primário (natação, esqui-aquático e mergulho); e f) usos menos exigentes. Classe 3 - águas destinadas para: a) abastecimento doméstico após tratamento convencional ou avançado; b) dessedentação animal; c) irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; d) pesca amadora e recreação de contato secundário (pesca esportiva, iatismo etc.); e)

usos menos exigentes. Classe 4 - águas destinadas para harmonia paisagística e navegação. ** Os valores apresentados são os máximos permitidos, à exceção do parâmetro OD, cujos limites são os mínimos permitidos por Classe.

Fonte: Brasil (2005).

Quadro 2: Resultado das análises da qualidade da água na Sub-Bacia do Córrego José Joaquim.

Parâmetro	Unidade	C1/C2	PR	P1	P2	P3	P4	P5
Coliformes fecais	NMP 100mL ⁻¹	C1	33	>1600	79	170	>1600	920
		C2	>1600	>1600	>1600	>1600	>1600	110
Condutividade elétrica	μS cm ⁻¹	C2	33,5	95,8	188,3	192,8	189,6	491
DBO ₅	mg L ⁻¹ O ₂	C1	2,3	1,1	1,7	1,6	1,7	1,7
		C2	79,4	158,9	79,2	188,7	208,5	288
Fosfato total	mg L ⁻¹ PO ₄	C1	<0,05 (LQ)	0,25	2,40	2,60	2,00	1,60
		C2	0,06	1,40	9,20	9,90	0,80	0,90
Nitrogênio amoniacal	mg L ⁻¹ N-NH ₃	C2	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	3,50	1,70	3,20	7,30
Oxigênio dissolvido	mg L ⁻¹ O ₂	C1	8,6	8,2	8,4	8,5	8,5	8,8
		C2	8,6	8,7	7,9	8,9	8,6	9,5
pH	-	C2	8,3	7,4	7,0	7,1	7,3	7,2
Sólidos totais	mg L ⁻¹	C2	28	124	268	200	148	76
Temperatura	°C	C2	19,6	20,8	29,7	28,7	29,4	27,4
Turbidez	UNT	C1	5,73	10,2	17,0	281,0	10,4	10,4
		C2	4,9	11,0	16,0	19,0	7,4	4,9
Cádmio	mg L ⁻¹ Cd	C1	<0,001 (LQ)	-	-	-	-	<0,001 (LQ)
		C2	<0,005 LQ	-	-	-	-	<0,005 (LQ)
Chumbo	mg L ⁻¹ Pb	C1	<0,01 (LQ)	-	-	-	-	<0,01 (LQ)
		C2	<0,01(LQ)	-	-	-	-	<0,01 (LQ)
Cobre	mg L ⁻¹ Cu	C1	<0,007 (LQ)	-	-	-	-	<0,007 (LQ)
		C2	<0,007 (LQ)	-	-	-	-	<0,007 (LQ)
Cromo	mg L ⁻¹ Cr	C1	<0,027 (LQ)	-	-	-	-	<0,027 (LQ)
		C2	<0,027 (LQ)	-	-	-	-	<0,027 (LQ)
Níquel	mg L ⁻¹ Ni	C1	<0,02 (LQ)	-	-	-	-	<0,02 (LQ)
		C2	<0,02 (LQ)	-	-	-	-	<0,02 (LQ)
Zinco	mg L ⁻¹ Zi	C1	<0,03 (LQ)	-	-	-	-	<0,03 (LQ)
		C2	<0,045 (LQ)	-	-	-	-	<0,045 (LQ)

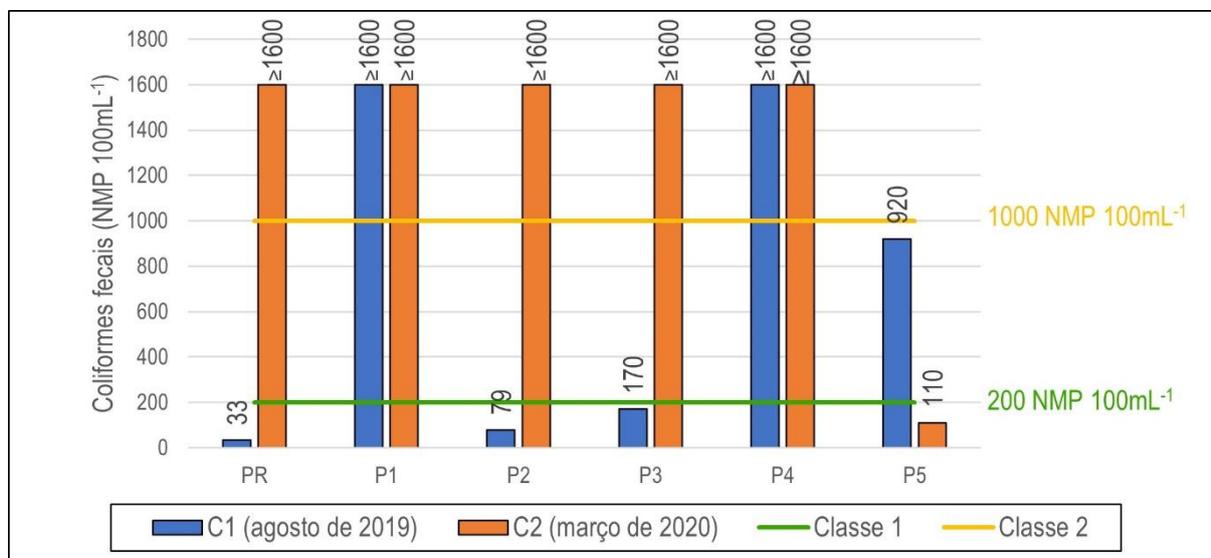
Observação: C1 - Campanha n.º 1 (15/08/19); C2 - Campanha n.º 2 (04/03/20); LQ - Limite de quantificação.

Fonte: Os autores (2021).

Coliformes fecais (ou termotolerantes): são o principal indicador de poluição por esgotos domésticos, pois referem-se às bactérias coliformes resistentes à temperatura, que são, na maioria,

associadas ao trato intestinal de animais de sangue quente (VON SPERLING, 2014). Os resultados para coliformes fecais estão representados na figura 3.

Figura 3: Resultados comparativos para o parâmetro coliformes fecais.



Fonte: Os autores (2021).

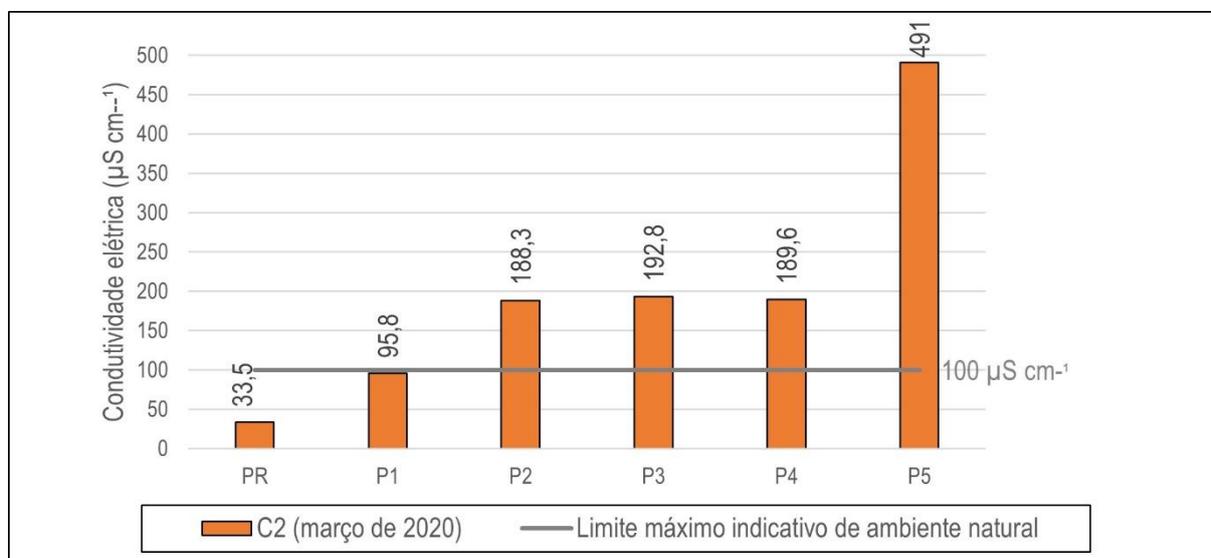
Na primeira campanha de amostragem, os valores determinados para coliformes fecais variaram bastante, apresentando pontos compatíveis com a Classe 1 (PR, P2 e P3), com a Classe 2 (P5) e com a Classe 3 ou inferior (P1 e P4). Já na segunda campanha, a presença de coliformes fecais nos pontos PR, P1, P2, P3 e P4 foi expressiva, apresentando resultados iguais ou superiores a 1600 NMP 100 mL⁻¹ (limite máximo de quantificação adotado no exame laboratorial), correspondendo à qualidade igual ou inferior à Classe 3. As altas concentrações de coliformes fecais nesses pontos indicam que esses locais sofrem influência do lançamento de esgotos domésticos não tratados. No ponto P5, há uma redução na presença de coliformes, cujo resultado é compatível com a Classe 1.

A variação nas concentrações de coliformes fecais, especialmente na campanha n.º 1, pode estar relacionada ao decaimento bacteriano natural, ao lançamento de esgotos domésticos de maneira localizada, influenciando os resultados em pontos específicos, e, também, pelo efeito diluidor de algum afluente com águas mais limpas, cuja confluência ocorre entre os pontos P1 e P2 (encontro do córrego da Palmeira com o córrego dos Prass), e P3 e P4 (encontro do córrego José Joaquim com o córrego São Jorge). O decréscimo de coliformes fecais no último ponto, além dos motivos anteriores, deve-se ao fato de que o córrego passa a escoar em uma área industrial, com menor adensamento urbano, e que o conjunto habitacional João Goulart (Cohab), um importante condomínio residencial a montante, conta com tratamento de esgotos, reduzindo o aporte de esgotos domésticos não tratados no P5 (SAPUCAIA DO SUL, 2011). Já entre as campanhas, observa-se que a campanha n.º 2 ocorreu em

período de estiagem e que não houve precipitação nos dias anteriores à amostragem, contribuindo para que não ocorresse a diluição dos poluentes.

Condutividade elétrica (CE): expressa a capacidade da água conduzir corrente elétrica, fenômeno que é diretamente proporcional à quantidade de sais dissolvidos na solução (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO- CETESB, 2019). Apesar do parâmetro não determinar, especificamente, a quantidade e nem os componentes que estão presentes na água, seu monitoramento constante fornece indícios sobre alterações na concentração de sais e zonas de poluição que podem ter origem em lançamentos irregulares de resíduos industriais, mineração, esgotos domésticos, drenagem superficial urbana etc. (MARQUES, 1993). Teores de condutividade superiores a $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ já são indicativos de ambientes impactados negativamente (CETESB, 2019, VON SPERLING, 2007). Os resultados para o parâmetro condutividade elétrica estão expressos na figura 4.

Figura 4: Resultados comparativos para o parâmetro condutividade elétrica (CE).



Fonte: Os autores (2021).

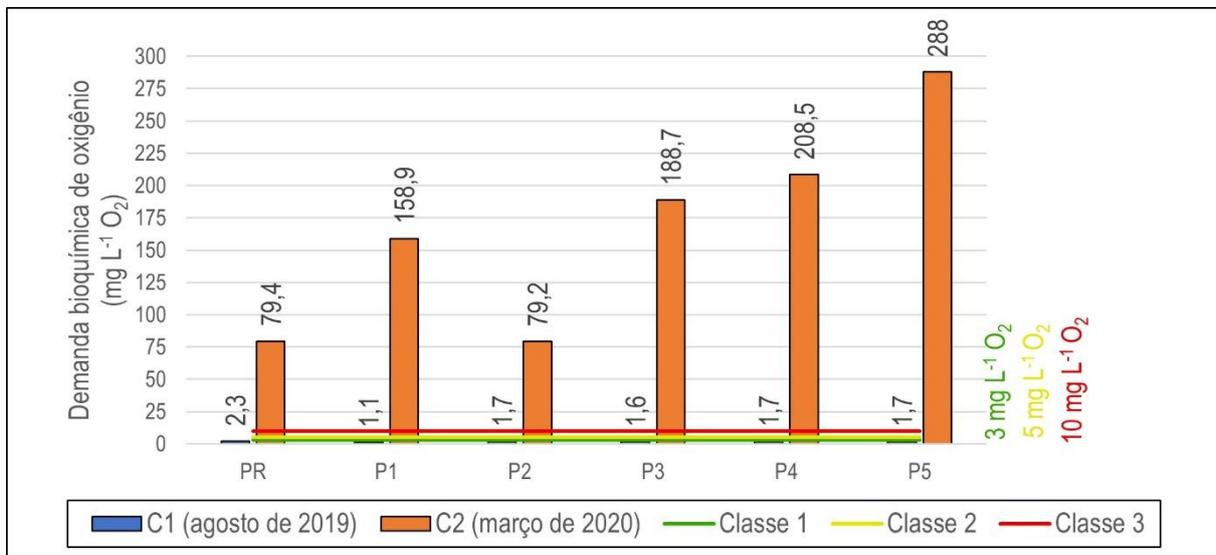
As medidas do parâmetro condutividade elétrica foram crescentes em direção à foz, com valor mínimo de $33,5 \mu\text{S cm}^{-1}$ (PR) e máximo de $491 \mu\text{S cm}^{-1}$ (P5). Essa evolução dos teores de condutividade indica aumento da degradação das águas do córrego de montante para jusante. Com quatro pontos de avaliação superando o valor de $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ (P2, P3, P4 e P5), as águas da sub-bacia apresentaram fortes evidências de poluição ambiental, sendo que esta provém dos esgotos domésticos, da drenagem superficial urbana e, especialmente no P5, de efluentes industriais.

Estudos que avaliaram a condutividade elétrica em afluentes do Rio dos Sinos encontraram valores de $400 \mu\text{S cm}^{-1}$, em outubro de 2015, no córrego Pampa (ZENI *et al.*, 2016), de 220 a $210 \mu\text{S cm}^{-1}$, em novembro de 2015, no córrego Luiz Rau (HECK *et al.*, 2017), e, ainda, de 204 a $277 \mu\text{S cm}^{-1}$,

em outubro de 2017, no córrego Schmidt (POL *et al.*, 2019). Nesse contexto, as águas superficiais da Sub-Bacia do Córrego José Joaquim apresentaram, em uma única campanha que avaliou esse parâmetro, valores elevados de condutividade elétrica, associando-se aos demais córregos urbanos da BHRS.

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅): refere-se ao potencial poluidor da matéria orgânica, ao determinar a quantidade de oxigênio dissolvido que seria necessária na água para oxidar toda a matéria por decomposição microbiana aeróbia. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando a mortandade de peixes e o desaparecimento de outras formas de vida (CETESB, 2019). As concentrações de DBO₅ estão apresentadas na figura 5.

Figura 5: Resultados comparativos para o parâmetro demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅).



Fonte: Os autores (2021).

A média dos resultados para o parâmetro DBO₅ foi de 84,4 mg L⁻¹ O₂, com resultado máximo de 288,0 mg L⁻¹ O₂ e mínimo de 1,1 mg L⁻¹ O₂, variando bastante entre as campanhas de amostragem. Na primeira, as águas superficiais da Sub-Bacia do Córrego José Joaquim apresentaram condições compatíveis com a Classe 1, com concentrações de DBO₅ entre 1,1 mg L⁻¹ O₂ (P1) e 2,3 mg L⁻¹ O₂ (PR). Entretanto, na segunda campanha, todos os resultados foram elevados, enquadrando-se na Classe 4, com valores que variaram entre 79,4 mg L⁻¹ O₂ (PR e P3) e 288,0 mg L⁻¹ O₂ (P5). Em pesquisas similares, as concentrações médias e máximas de DBO₅ foram de 50,3 mg L⁻¹ O₂ e 105 mg L⁻¹ O₂, entre maio de 2006 e maio de 2007, no córrego Pampa (NAIME; NASCIMENTO, 2009b), e de 80,0 mg L⁻¹ O₂ e 133,5 mg L⁻¹ O₂, em março, abril, junho e julho de 2004, no córrego Portão (NAIME; FAGUNDES, 2005). Verifica-se que as concentrações médias e máximas de DBO₅ nos córregos

Pampa e Portão assemelham-se às concentrações obtidas na campanha n.º 2 do presente estudo, o que situa, novamente, o córrego José Joaquim em níveis similares de poluição aos encontrados em outros córregos urbanos da BHRS.

Conforme informação¹ fornecida pela Companhia Riograndense de Saneamento (Corsan), observa-se que, no período entre 21 de agosto de 2019 e 31 de março de 2020, a concentração de DBO₅ no líquido afluente à ETE Novo Esteio, ou seja, no esgoto não tratado, variou de 26 a 314 mg L⁻¹ O₂ (em seis análises). Já no líquido efluente à ETE Novo Esteio, ou seja, no líquido após tratamento, as concentrações de DBO₅ variaram de 3,8 a 14 mg L⁻¹ O₂ no mesmo período (em oito análises). Tais concentrações, quando comparadas com os resultados da campanha n.º 2 deste estudo, apontam que as águas do córrego José Joaquim não têm melhor qualidade do que o esgoto doméstico bruto, que são caracterizados por apresentar teores de até 350 mg L⁻¹ O₂, em média.

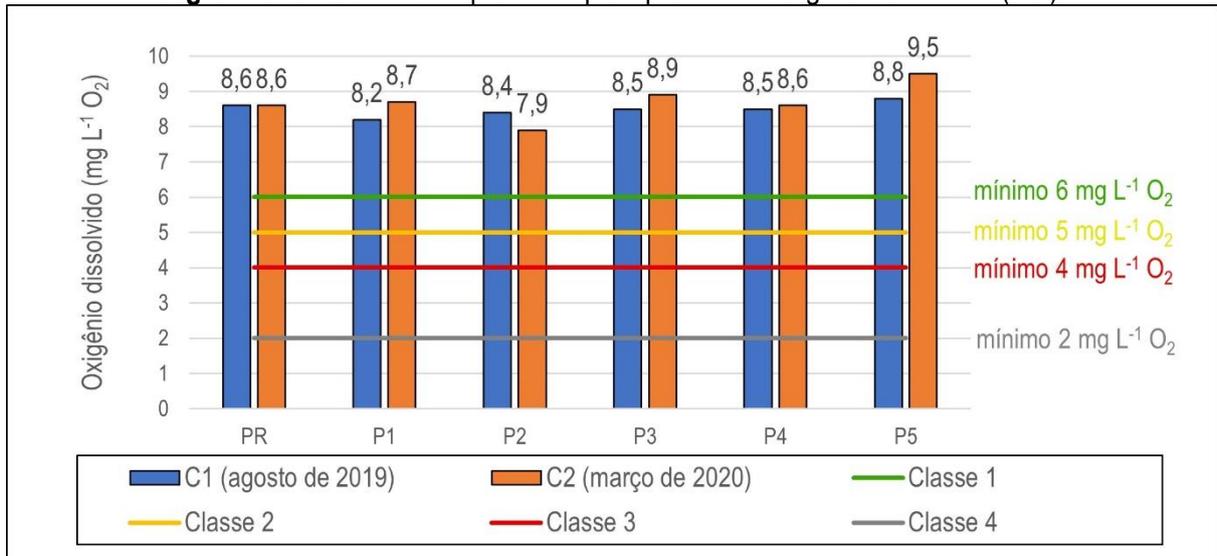
Oxigênio dissolvido (OD): constitui um dos principais parâmetros para avaliar a qualidade das águas superficiais, pois indica a capacidade do corpo d'água manter a vida aquática. Peixes e outras formas de vida perecem com concentrações abaixo de 4 e 2 mg L⁻¹ O₂, respectivamente. A principal causa de redução na concentração de OD na água é a decomposição aeróbia de matéria orgânica. Além dela, fatores como a elevação na temperatura da água, diminuição nas vazões e remoção de corredeiras também afetam negativamente os teores de OD (BRAGA *et al.*, 2005). Os resultados para esse parâmetro estão ilustrados na figura 6.

As concentrações de OD nas águas da Sub-Bacia do Córrego José Joaquim variaram de 7,9 a 9,5 mg L⁻¹ O₂, apresentando qualidade compatível com a Classe 1. As concentrações mínimas e máximas de OD encontradas por pesquisas em outros córregos foram consideravelmente inferiores: de 0,0 a 6,6 mg L⁻¹ O₂, entre maio de 2006 e maio de 2007, no córrego Pampa (NAIME; NASCIMENTO, 2009b), e de 1,7 a 3,0 mg L⁻¹ O₂, em novembro de 2015, no córrego Luiz Rau (HECK *et al.*, 2017), e de 1,1 a 3,6 mg L⁻¹ O₂, em outubro de 2017, no córrego Schmidt (POL *et al.*, 2019).

A concentração de OD na água tende a diminuir à medida que os cursos fluviais recebem matéria orgânica, pelo consumo de oxigênio na biodegradação, e o fluxo fica mais lento, pela redução das taxas de reaeração (ALMEIDA; SCHWARZBOLD, 2003). Esse efeito não se verifica na sub-bacia, ocorrendo pequenas variações ao longo do curso, indicando que o corpo d'água tem capacidade de reaeração, o que pode ser atribuído a fatores como: troca de gases entre o líquido e a atmosfera, atividade de algas, mistura com águas oxigenadas (vindas de afluentes como os córregos dos Prass e São Jorge), e aeração proporcionada por degraus no leito canalizado.

¹ Informação n.º 119/2020 fornecida por e-mail por Jackson Saint Pierre Dul, Coordenador Técnico Interior do Departamento de Controle de Esgotos (DECE), Superintendência de Tratamento (Sutra) da Corsan, 12 de maio de 2020.

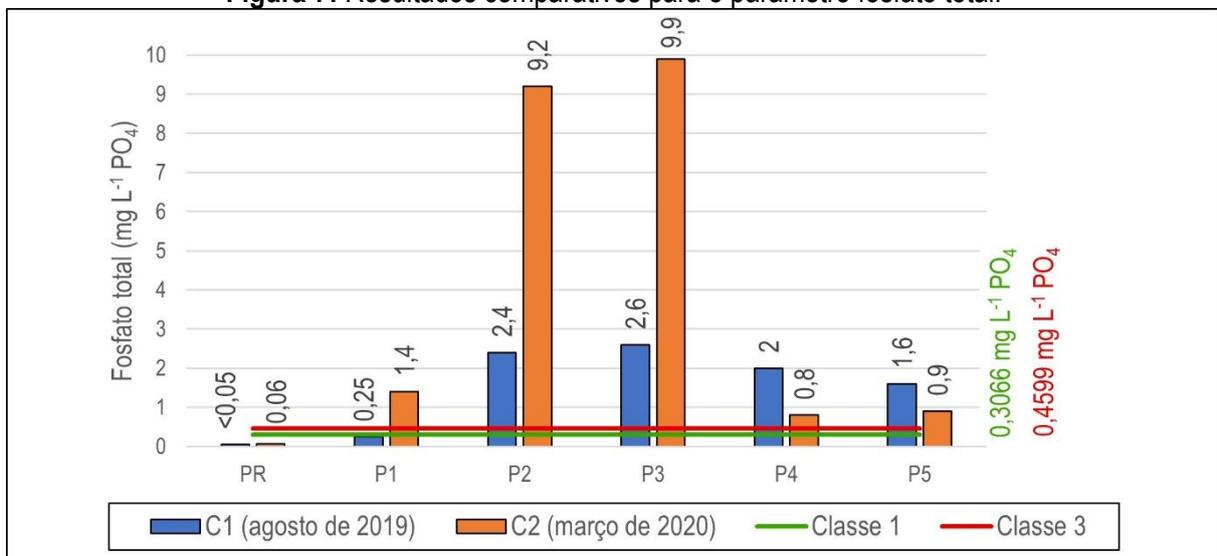
Figura 6: Resultados comparativos para parâmetro oxigênio dissolvido (OD).



Fonte: Os autores (2021).

Fosfato total: constitui um parâmetro importante para avaliação da qualidade da água, por ser considerado o principal nutriente limitante para produtividade vegetal, cujo excesso pode levar ao fenômeno de eutrofização (CETESB, 2019). Estima-se que metade do fosfato dissolvido na água seja de origem antrópica, o que o torna um importante indicador de poluição (MEYBECK, 1982, *apud* SARAIVA, 2018). Os resultados para fosfato estão representados na figura 7.

Figura 7: Resultados comparativos para o parâmetro fosfato total.



Fonte: Os autores (2021).

O valor médio de fosfato total foi de 2,83 mg L⁻¹ PO₄, com máximo de 9,9 mg L⁻¹ PO₄ (P3) e mínimo abaixo do limite de quantificação laboratorial (<0,05 mg L⁻¹ PO₄, no PR). Os valores obtidos foram mais elevados nos pontos P2 e P3, o que se deve, provavelmente, aos despejos de esgotos domésticos dos bairros existentes no entorno do córrego, ricos em matéria orgânica fecal e em detergentes fosfatados utilizados em produtos de limpeza.

Como o parâmetro fosfato total não faz parte dos critérios de qualidade da água da Resolução Conama n.º 357 e de suas alterações, não foi possível comparar, diretamente, a concentração de fosfato total com os limites estabelecidos pela legislação vigente. Pinheiro *et al.* (2013) ofereceram, como solução para essa questão, a conversão dos limites máximos estabelecidos na legislação para fósforo total em fosfato total, através da relação matemática apresentada abaixo.

Equação

$$PO_4 = P_{TOTAL} \times 3,066$$

onde: PO₄ é a concentração de fosfato total (mg L⁻¹ PO₄) e P_{TOTAL} é a concentração de fósforo total (mg L⁻¹ P).

Obtém-se, assim, para as águas doces e ambientes lóticos, o limite máximo para concentração de fosfatos de 0,3066 mg L⁻¹ PO₄ para as Classe 1 e de 0,4599 mg L⁻¹ PO₄ para a Classe 3. Segundo esses limites, três resultados enquadram as águas da Sub-Bacia do Córrego José Joaquim na Classe 1 (PR, em ambas as campanhas, e P1, na campanha n.º 1) e nove na Classe 4 (P1, na campanha n.º 2, e demais pontos, em ambas as campanhas).

Nitrogênio amoniacal: é importante para avaliação de águas naturais por ser um indicador da poluição recente por esgotos domésticos (CETESB, 2019). Os resultados para nitrogênio amoniacal estão expressos na figura 8.

A concentração média do parâmetro nitrogênio amoniacal foi de 3,93 mg L⁻¹, variando de valores inferiores ao limite de quantificação (<0,05 mg L⁻¹, PR e P1) até 7,30 mg L⁻¹ (P5). No último ponto, a classificação correspondeu à Classe 4, conforme a Resolução Conama n.º 357, e nos demais pontos os valores foram compatíveis com a Classe 1, levando-se em consideração o pH.

Normalmente, as fontes antrópicas de nitrogênio predominantes são as atividades agrícolas, que utilizam fertilizantes nitrogenados. Já as fontes pontuais urbanas (esgotos urbanos e industriais) são relevantes apenas nas bacias hidrográficas muito densamente povoadas e urbanizadas (SARAIVA, 2018, NAIME; NASCIMENTO, 2009b). Este é o caso da Sub-Bacia do Córrego José Joaquim, cujo valor elevado de nitrogênio amoniacal no P5 indica poluição recente por lançamentos de esgotos domésticos.

Figura 8: Resultados comparativos para o parâmetro de nitrogênio amoniacal.



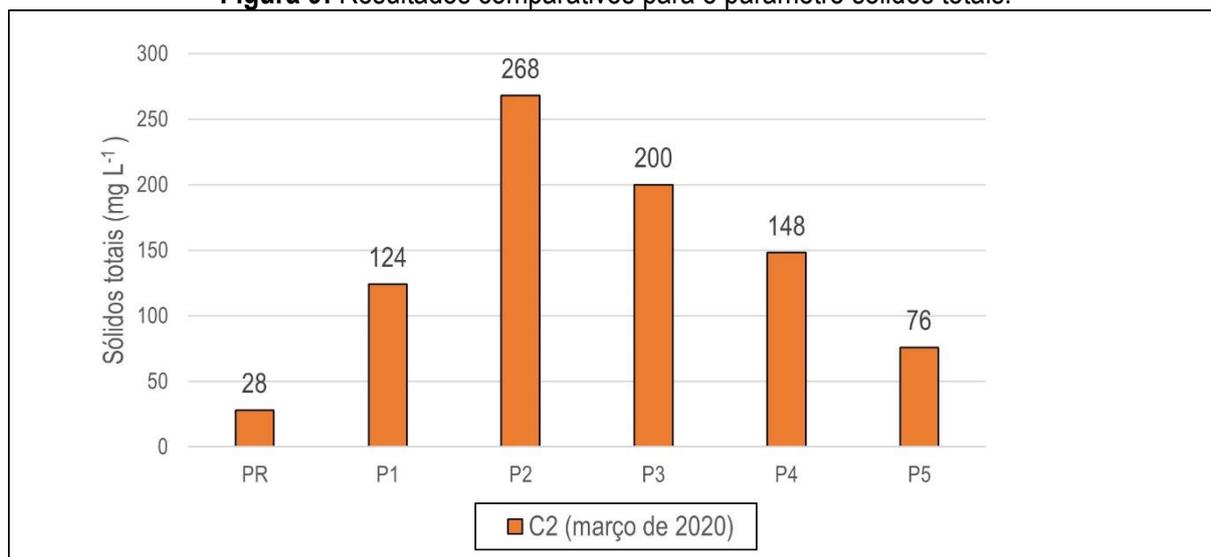
Fonte: Os autores (2021).

Potencial hidrogeniônico (pH): refere-se a uma variável importante do manancial, visto que influencia nos processos biológicos que ocorrem no meio aquático, bem como na toxicidade de alguns compostos nele presentes (CETESB, 2019, NAIME; FAGUNDES, 2005). Sistemas biológicos são bastante sensíveis ao pH: para não sofrer danos, necessitam que os valores de pH estejam entre 6,5 e 8,5 (BRAGA *et al.*, 2005). Vale dizer que o pH é um parâmetro difícil de interpretar, devido ao grande número de fatores que podem afetá-lo (ALMEIDA; SCHWARZBOLD, 2003).

As águas da Sub-Bacia do Córrego José Joaquim apresentaram características de Classe 1 para o parâmetro pH, analisado durante a segunda campanha de monitoramento, com média de 7,3, com máximo 8,3 (PR) e mínimo de 7,0 (P2). Nos córregos Pampa, em outubro de 2015 (ZENI *et al.*, 2016) e entre maio de 2006 e maio de 2007 (NAIME; NASCIMENTO, 2009b), e Luiz Rau, em novembro de 2015 (HECK *et al.*, 2017), e no córrego Portão, em março, abril, junho e julho de 2004 (NAIME; FAGUNDES, 2005), os resultados de pH também não divergiram do limite mínimo (6,0) e máximo (9,0) estabelecidos pela Resolução CONAMA n.º 357 e suas alterações vigentes.

Sólidos totais: indicam a presença de matéria que, dissolvida ou particulada, pode causar danos aos peixes e à vida aquática, como sedimentação do leito, transporte de poluentes adsorvidos, turbidez, salinização e coloração da água, entre outros. Os sólidos entram no corpo d'água de forma natural (processos erosivos, organismos e detritos orgânicos) ou antropogênica (resíduos e esgotos sanitários) (BRAGA *et al.*, 2005). Os resultados para sólidos totais estão demonstrados na figura 9.

Figura 9: Resultados comparativos para o parâmetro sólidos totais.



Fonte: Os autores (2021).

Os valores determinados para o teor de sólidos totais nas águas superficiais da Sub-Bacia do Córrego José Joaquim apresentaram concentração média de 140 mg L⁻¹, máximo de 268 mg L⁻¹ e mínimo de 28 mg L⁻¹. Os valores mais altos de sólidos relacionam-se aos pontos em que o corpo d'água está mais assoreado (P2) ou em processo de revitalização (P3). Apesar de não ser possível associar os resultados obtidos com a legislação vigente, pois os sólidos totais não fazem parte dos parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA n.º 357 e suas alterações, observa-se que os valores são bastante inferiores aos observados no córrego Portão, onde a concentração média foi de, aproximadamente, 2253 mg L⁻¹, com mínimo de 312 mg L⁻¹ e máximo de 12983 mg L⁻¹, monitorado em março, abril, junho e julho de 2004 (NAIME; FAGUNDES, 2005).

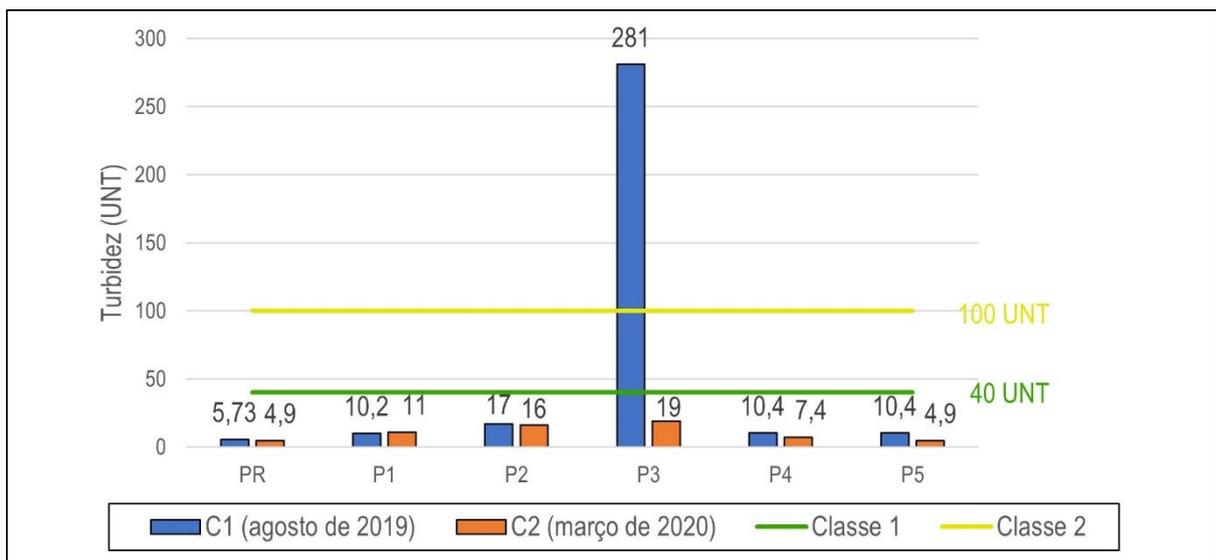
Temperatura: constitui um parâmetro importante do curso fluvial, interferindo em uma série de características físico-químicas da água e no ciclo de vida dos organismos (CETESB, 2019, LIBÂNIO, 2016). Como a temperatura pode variar muito entre cursos fluviais do Brasil, a legislação não estabelece os limites para esse parâmetro. É através do monitoramento contínuo que se pode criar subsídios para avaliação desse parâmetro (MACEDO, 2009).

As temperaturas observadas ao longo da Sub-Bacia do Córrego José Joaquim, no dia 04 de março de 2020 (um dia nublado em que as temperaturas variaram de 21°C a 30°C), foram de, no mínimo, 19,6°C (registrada no PR, às 10 horas e 30 minutos) e de, no máximo, 29,7°C (registrada no P2, às 14 horas). Observa-se que as temperaturas foram medidas em diferentes momentos do dia (entre 10 horas e 30 minutos e 15 horas e 15 minutos) e sob diferentes condições de insolação do canal fluvial (com e sem cobertura vegetal). Os pontos com as temperaturas mais elevadas,

aproximadamente, 29°C registrados à tarde, foram aqueles canalizados e que não possuíam cobertura vegetal para servir de anteparo para os raios solares (P2, P3 e P4).

Turbidez: refere-se a uma característica da qualidade da água que pode influenciar adversamente as comunidades biológicas aquáticas e os usos da água: a alta turbidez reduz a fotossíntese da vegetação submersa e de algas e prejudica a busca por alimentos (CETESB, 2019). A turbidez natural das águas está, geralmente, compreendida na faixa de 3 a 500 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) (BRASIL, 2006). Os resultados para turbidez estão representados na figura 10.

Figura 10: Resultados comparativos para o parâmetro turbidez.



Fonte: Os autores (2021).

A qualidade das águas da Sub-Bacia do Córrego José Joaquim atende, na maioria dos pontos de monitoramento, aos limites de enquadramento da Classe 1 da Resolução CONAMA n.º 357 e suas alterações vigentes, com valor médio de 10,6 UNT, variando entre 4,9 (PR e P5) e 19,0 UNT (P3). A exceção ocorreu na campanha n.º 1, quando o valor de turbidez no P3 foi de 281 UNT, classificando as águas como Classe 4. Esse resultado advém de obras de revitalização desse trecho do canal, que passava pelo processo de revestimento das margens e do leito (canalização a céu aberto), incrementando a entrada de sedimentos no curso fluvial.

Metais pesados: são parâmetros importantes no monitoramento da qualidade das águas porque podem causar sérios danos à saúde dos organismos, cujo efeito varia em função da quantidade de metal ingerida e do tipo do metal. O cádmio, o chumbo e o cromo, na forma hexavalente, são metais tóxicos porque não existem em nenhum organismo, constituindo-se elementos prejudiciais à saúde em qualquer concentração na água. Já o cobre, o cromo, na forma trivalente, o níquel e o zinco são

nutrientes essenciais em baixas doses (micronutrientes), e só se tornam prejudiciais à saúde quando ingeridos em concentrações muito elevadas (CETESB, 2019, BRAGA *et al.*, 2005).

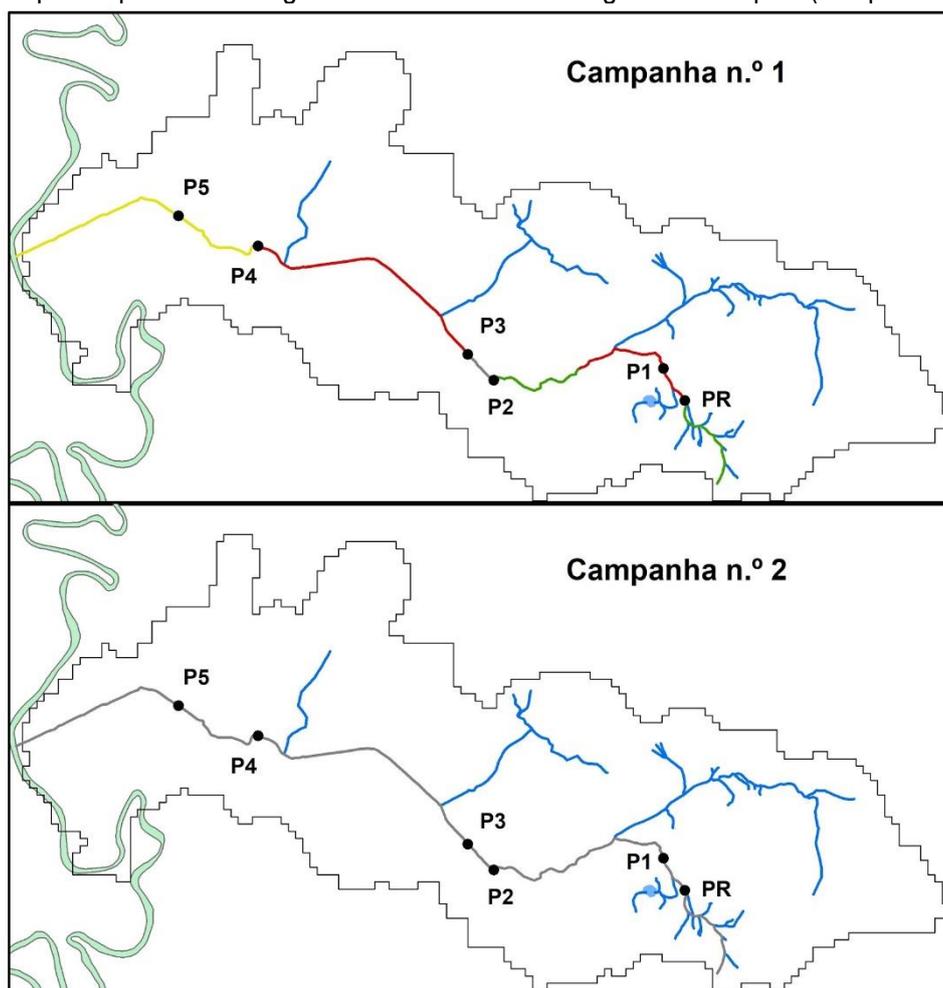
A presença de metais foi avaliada apenas em dois pontos: PR e P5, tanto na primeira quanto na segunda campanha de amostragem, para observar se haveria contaminação por metais devido às atividades industriais, localizadas especialmente na parte final da sub-bacia. Conforme os resultados apresentados no quadro 2, as análises não detectaram nenhum dos seis metais prospectados nesta pesquisa, considerando-se os limites de quantificação de cada metal. Os pontos PR e P5 apresentaram, portanto, para esse parâmetro, a melhor qualidade da água, representada pela Classe 1 da Resolução CONAMA n.º 357 e suas alterações vigentes.

No córrego Pampa (NAIME; NASCIMENTO, 2009a), entre maio de 2006 e maio de 2007, foram detectadas concentrações de cromo e níquel acima do permitido para a Classe 3 e de chumbo acima da Classe 2, e, no córrego Schmidt (COSTA *et al.*, 2014), no inverno e primavera de 2012 e verão e outono de 2013, foram encontradas concentrações de cádmio e chumbo superiores aos limites da Classe 2. Esses resultados apontam que a poluição por efluentes industriais no córrego José Joaquim é, aparentemente, menos relevante do que a identificada em outros córregos da BHRS.

Em síntese, os resultados indicaram que a maioria dos parâmetros analisados apresentou qualidade compatível com a Classe 1 da Resolução CONAMA n.º 357 e suas alterações vigentes. Porém, como alguns parâmetros apresentaram resultados de qualidade inferiores aos demais, as águas superficiais da Sub-Bacia do Córrego José Joaquim corresponderam à classificação do parâmetro mais restritivo em cada ponto, encontrando-se a Classe 4 na maior parte das análises (58%).

Os resultados em cada ponto e em cada campanha foram usados para indicar, na figura 11, a espacialização da classificação da qualidade da água encontrada na Sub-Bacia do Córrego José Joaquim. Cada trecho do curso d'água principal, com condições relativamente homogêneas de escoamento do canal e da área de drenagem, foi associado a um ponto de avaliação e recebeu uma cor representativa da classe da qualidade da água mais restritiva encontrada. Nota-se a má qualidade da água no trecho associado ao P3, nas campanhas n.º 1 e n.º 2, e a piora da qualidade da água nos demais trechos, na campanha n.º 2. Ou seja, na época em que os cursos fluviais escoam menos água e têm a sua capacidade de diluir poluentes reduzida, o resultado em todos os pontos não foram satisfatórios quando comparados aos limites estabelecidos pela legislação vigente.

Figura 11: Mapa da qualidade da água da Sub-Bacia do Córrego José Joaquim (campanhas n.º 1 e 2).



Legenda

- Açúde
- Rio dos Sinos
- Pontos de Avaliação
- Afluentes do córrego José Joaquim
- Sub-bacia do córrego José Joaquim

Classificação segundo a Resolução CONAMA n.º 357 de 2005.

- Classe 1
- Classe 2
- Classe 3
- Classe 4

1,5 0,75 0 1,5 km

Sistemas de coordenadas: Projeção UTM 22S, Datum SIRGAS 2000
 Fonte: Fepam (2005ac) e Weber, Hasenack e Ferreira (2004).
 Elaboração: os autores (2021)



Fonte: Os autores (2021).

Os resultados da avaliação apontam para um declínio da qualidade da água de montante para jusante do córrego, embora a degradação não seja constante devido a uma pequena melhora registrada no último ponto de avaliação (P5). A menor qualidade ambiental está associada às áreas em que a urbanização é mais significativa e onde o córrego está canalizado. Há um comprometimento da qualidade sanitária da água, pela presença de esgotos domésticos, pois os resultados dos parâmetros

DBO₅, coliformes fecais e fosfatos corresponderam às classes de qualidade inferior, mais restritivas quanto ao seu uso. Ainda, os resultados de condutividade elétrica apontam para deterioração crescente da qualidade da água em direção à foz (aumento de 33 para 491 $\mu\text{S cm}^{-1}$), indicando poluição por esgotos domésticos e, possivelmente, efluentes líquidos industriais.

A comparação dos resultados do monitoramento da presente pesquisa com os obtidos por estudos semelhantes, junto aos córregos Pampa, Luiz Rau, Schmidt e Portão, permitiu identificar que a poluição por esgotos domésticos na Sub-Bacia do Córrego José Joaquim é semelhante àquela encontrada em outros córregos da BHRS. O córrego José Joaquim também não apresenta condições mais satisfatórias do que o próprio Rio dos Sinos, pois ambos apresentam parâmetros que correspondem à classe de qualidade da água mais restritiva quanto ao seu uso, segundo a Resolução Conama n.º 357 e suas alterações vigentes.

Identificada a poluição por esgotos domésticos, a implantação de sistemas de coleta e tratamento de esgotos apresenta-se como imprescindível para a melhora da qualidade da água da Sub-Bacia do Córrego José Joaquim, e assim contribuir com a melhora da água da BHRS. Entretanto, apesar de necessária, a ampliação do tratamento de esgotos domésticos de 7% para quase 87% no município de Sapucaia do Sul, como está sendo previsto pela Corsan (GAUCHA ZH, 2019), não irá garantir, sozinha, a sustentabilidade do ecossistema aquático. Os problemas envolvendo a garantia dos recursos hídricos em qualidade e em quantidade suficiente para abastecimento da população e para sustentação de vida são amplos e envolvem questões ambientais e socioeconômicas complexas, sendo que apenas uma parte do problema foi abordada no presente estudo.

Vale advertir que a expansão da urbanização sobre a Sub-Bacia do Córrego José Joaquim, especialmente em direção às nascentes, ampliará a geração de efluentes domésticos que podem ser lançados diretamente nas águas com elevada carga de poluentes, caso não haja planejamento urbano adequado para proporcionar as estruturas de saneamento básico e destinação para tratamento dos efluentes líquidos que serão gerados. A área rural do município de Sapucaia do Sul já passou por reduções que levaram à expansão da mancha urbana sobre os morros, transformando sítios em condomínios, e pode ser ainda mais atingida pela implantação prevista de uma rodovia estadual 010 (ERS-010) (GONÇALVES, 2013). A urbanização no entorno da RPPN Fazenda Morro Sapucaia, próximas aos pontos PR e P1, pode comprometer os esforços feitos a jusante para que o córrego deixe de ser um canal para recebimento e escoamento de esgotos domésticos.

Ressalta-se ainda que, devido a litologia da região, com a presença de arenitos da Formação Botucatu, a água contaminada dos recursos hídricos superficiais pode percolar até os lençóis

subterrâneos, carregando poluentes e comprometendo o Sistema Aquífero Guarani, com efeitos para além dos limites da sub-bacia (NAIME; FAGUNDES, 2005).

Considerações finais

A avaliação da qualidade da água identificou que o córrego José Joaquim apresenta, em toda sua extensão, poluição por esgotos domésticos, chegando a ser comparável a um canal de escoamento de esgotos a céu aberto. Especialmente na segunda campanha de monitoramento, no período de estiagem, notou-se uma elevação nos parâmetros analisados, encontrando-se concentrações consideráveis de coliformes fecais, DBO₅, fósforo total e condutividade elétrica. A qualidade da água superficial em cada ponto de avaliação foi predominantemente compatível com a Classe 4 da Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005, e suas alterações vigentes, impossibilitando usos mais nobres da água.

Diante da análise dos resultados obtidos, pode-se afirmar que as águas da Sub-Bacia do Córrego José Joaquim não possuem qualidade satisfatória para todos os usos múltiplos, caracterizando o córrego José Joaquim como um afluente poluído do Rio dos Sinos. Tornam-se necessárias melhorias no sistema de esgotamento sanitário para contribuir como uma primeira medida para a manutenção da qualidade da água da sub-bacia e da Bacia do Rio dos Sinos.

Referências

- ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação sazonal da qualidade das águas do arroio da Cria, Montenegro, RS, com aplicação de um índice de qualidade da água (IQA). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 81-97, jan./mar. 2003. Disponível em: https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=37&SUMARIO=557&ST=avaliacao_sazonal_da_qualidade_das_aguas_do_arroio_da_cria_montenegro_rs_com_aplicacao_de_um_indice_de_qualidade_de_agua_iqa. Acesso em: 07 ago. 2021.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). American Water Works Association (AWWA). Water Environment Federation (WEF). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd Edition. Washington, DC: AWWA, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 9251:1986: Água - Determinação de pH - Método eletrométrico*. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- _____. *NBR 12772:1992: Água - Determinação de fósforo - Método de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- BRAGA, B. *et al. Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável*. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). 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. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, v. 1, p. 58-63, 18 mar. 2005. Alterada pelas Resoluções n.º 370, de 2006, n.º 397, de 2008, n.º 410, de 2009, e n.º 430, de 2011. Complementada pela Resolução n.º 393, de 2007.

- _____. Ministério da Saúde (MS). Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS). *Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano*. Brasília, DF: MS, 2006.
- _____. Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). Secretaria Nacional de Saneamento (SNS). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): Série Histórica 2019*. Brasília, DF: SNS, [2020]. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 07 ago. 2021.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2018: Apêndice E — Significado ambiental das variáveis*. São Paulo: CETESB, 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios>. Acesso em: 07 ago. 2021.
- CONSÓRCIO PÚBLICO DE SANEAMENTO BÁSICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOS SINOS (PRÓ-SINOS). *Plano de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos: Relatório da atividade 3.3 – Síntese da situação atual dos Recursos Hídricos – Meta 3 – Diagnóstico da Bacia do Rio dos Sinos*. São Leopoldo: Pró-Sinos, 2014. Disponível em: <http://www.prosinos.rs.gov.br/downloads/Meta%203%20-%20Ativ.%203.3%20-%20Situa%C3%A7%C3%A3o%20Rec.%20H%C3%ADricos.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2021.
- COSTA, G. M. da. *et al.* Monitoramento químico e do potencial genotóxico para o diagnóstico da qualidade de corpos hídricos. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, Rio de Janeiro, n. 32, p. 65-74, jun. 2014. Disponível em: http://www.rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBciAMB/article/view/249. Acesso em: 07 ago. 2021.
- FIA, R. *et al.* Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 267-275, jan./mar. 2015. Disponível em: https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=176&SUMARIO=5046&ST=qualidade_da_agua_de_um_ecossistema_lotico_urbano. Acesso em: 07 ago. 2021.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER (FEPAM) (Brasil). *Limite Estadual: base cartográfica digital do RS 1:250.000*. 2005a. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp. Acesso em: 07 ago. 2021.
- _____. *Limite Municipal: base cartográfica digital do RS 1:250.000*. 2005b. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp. Acesso em: 07 ago. 2021.
- _____. *Qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos*. Porto Alegre: FEPAM, [200-]. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_sinos/sinos.asp. Acesso em: 07 ago. 2021.
- _____. *Recursos Hídricos - polígonos: base cartográfica digital do RS 1:250.000*. 2005c. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp. Acesso em: 07 ago. 2021.
- GAÚCHA ZH. CORSAN projeta ampliação de tratamento de esgoto com PPPs para mais 18 municípios. *Gaúcha ZH*, Porto Alegre, 25 dez. 2019. Geral. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2019/12/corsan-projeta-ampliacao-de-tratamento-de-esgoto-com-ppps-para-mais-18-municipios-ck4lpfct007101k8b1yiecb7.html>. Acesso em: 07 ago. 2021.
- GONÇALVES, F. de S. *A expansão urbana sobre o relevo do município de Sapucaia do Sul-RS*. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 2013.
- GONZATTO, M. Os maiores desastres ambientais do RS: o que eles ensinaram aos gaúchos. *Gaúcha ZH*, Porto Alegre, 21 set. 2017. Especiais. Disponível em: <http://especiais.zh.clicrbs.com.br/especiais/desastres-ambientais>. Acesso em: 02 abr. 2021.
- HECK, T. M. da S. *et al.* Avaliação da água através de parâmetros microbiológicos e físico-químicos em áreas populacionais do arroio Luiz Rau, afluente do rio dos Sinos, Município de Novo Hamburgo, RS. *Conhecimento Online*, Novo Hamburgo, v. 2, p. 105-117, jul./dez. 2017. Disponível em: <https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistaconhecimentoonline/article/view/1146>. Acesso em: 07 ago. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cidades*: Sapucaia do Sul. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/sapucaia-do-sul/panorama>. Acesso em: 07 ago. 2021.

_____. Indicadores do Desenvolvimento Sustentável (IDS). *Tabela 3928*: Média anual do Índice de Qualidade das Águas - IQA, em corpos d'água selecionados. 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3928>. Acesso em: 07 ago. 2021.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO). *Plano de Manejo RPPN Fazenda Morro Sapucaia*. 2007. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-planos-de-manejo/rppn_fazenda_morro_sapucaia_pm.pdf. Acesso em: 07 ago. 2021.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento da água*. Campinas: Átomo, 2016.

MACEDO, D. R. *Avaliação de projeto de restauração de curso d'água em área urbanizada: estudo de caso no Programa DRENURBS em Belo Horizonte*. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2009.

MARQUES, P. P. Programa de Qualidade de Águas. *A Água em Revista*, Brasília, DF, v. 1, n. 1, p. 35-41, nov. 1993.

NAIME, R.; FAGUNDES, R. S. Controle da qualidade da água do arroio Portão, Portão, RS. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 32, n. 1, p. 27-35, maio/ago. 2005. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/19535>. Acesso em: 07 ago. 2021.

NAIME, R.; NASCIMENTO, C. A. Monitoramento de metais pesados no arroio Pampa em Novo Hamburgo/RS. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, Espírito Santo do Pinhal, v.6, n. 2, p. 433-450, maio/ago. 2009a. Disponível em:

<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=234&layout=abstract>. Acesso em: 07 ago. 2021.

_____. Monitoramento físico-químico e microbiológico das águas do arroio Pampa em Novo Hamburgo/RS. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 410-432, maio/ago. 2009b. Disponível em:

<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=235&layout=abstract>. Acesso em: 07 ago. 2021.

PINHEIRO, A. *et al.* Concentrações e cargas de nitrato e fosfato na Bacia do Ribeirão Concórdia, Lontras, SC. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, Campina Grande, v. 17, n.1, p. 86-93, jan. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/ijrbeaa/a/PQTFxxfym4BFbJ3wJGtbYqj/?lang=pt>. Acesso em: 07 ago. 2021.

POL, J. J. *et al.* Avaliação ambiental da água superficial do arroio Schmidt (Campo Bom, RS), por meio de análises físico-química, biológica e toxicológica em dois pontos. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, Florianópolis, v. 8, n. 3, p. 159-171, jul./set. 2019. Disponível em:

http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/7101. Acesso em: 07 ago. 2021.

SAPUCAIA DO SUL. *Plano Municipal de Saneamento Básico: Relatório do Diagnóstico (minuta)*. Sapucaia do Sul: [s.n.], 2014.

_____. *Termo de Referência para elaboração de estudo de concepção para gestão das águas pluviais: manejo de águas pluviais e drenagem urbana da bacia do arroio José Joaquim*. 2011. Disponível em: http://www.sapucaiaodosul.rs.gov.br/wp-content/uploads/2014/07/TR-SAPUCAIA-FINAL-_2011-Arroio-JJ_Rev01.pdf. Acesso em: 07 ago. 2021.

SARAIVA, P. D. L. *Influência das ações antropogênicas no transporte de carbono, nitrogênio e fósforo particulado em bacias hidrográficas no sul da Bahia*. 2018. Dissertação (Mestrado em Ecologia) — Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa de Pós-Graduação em Sistemas Aquáticos Tropicais, Ilhéus, 2018.

- SIMON, F. W.; PICKBRENNER, K.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo do regime hídrico pluvial e fluvial em bacia hidrográfica com precipitação homogênea. *In: SBRH - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 20., 2017, Bento Gonçalves. *Anais [...]*. Bento Gonçalves, ABRH, 2017. Disponível em: <https://anais.abrhydro.org.br/job.php?Job=1477>. Acesso em 07 ago. 2021.
- SOUZA, M. M. de; GASTALDINI, M. do C. C. A avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, jul./set. 2014, p. 263-274. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/LGHjSGCrD9fgGKzFwnnRZhG/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 07 ago. 2021.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) (Estados Unidos). *EPA Method 350.2: Nitrogen, Ammonia (Colorimetric, Titrimetric, Potentiometric Distillation Procedure)*. Washington, DC: USEPA, 1974.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS) (Estados Unidos). L1C_T22JDN_A025203_20200419T132233. [Paris]: ESA, 2020. 1 imagem de satélite, color. Satélite SENTINEL 2A, instrumento MSI. Intervalo de tempo: 19 abr. 2020 a 19 abr. 2020. Lat. -29.4224411, Long. -51.4653521. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/scene/metadata/full/5e83a42ca9977c30/10185471/>. Acesso em: 07 ago. 2021.
- VON SPERLING, E. *Estudos de modelagem da qualidade da água de rios*. Belo Horizonte: UFMG, 2007.
- _____. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.
- WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. *Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação*. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia, 2004. Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>. Acesso em: 02 abr. 2021.
- WREGE, M. S. *et al.* (ed.). *Atlas Climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul*. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1045852/atlas-climatico-da-regiao-sul-do-brasil-estados-do-parana-santa-catarina-e-rio-grande-do-sul>. Acesso em: 07 ago. 2021.
- ZENI, A. *et al.* Comparação da qualidade da água entre o Rio dos Sinos no ponto de captação de água bruta para abastecimento público e seu afluente arroio Pampa. *In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE*, 5., 2016, Bento Gonçalves. *Anais [...]*. Bento Gonçalves: Fundação PROAMB, 2016. Disponível em: <https://siambiental.ucs.br/congresso/anais/trabalhosTecnicos?ano=2016>. Acesso em: 07 ago. 2021.