
CONCENTRAÇÕES E CARGAS DE MATÉRIA ORGÂNICA E DE NUTRIENTES NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOS MUNICÍPIOS DA UGRHI 8

PALMA, Alessandro¹
SANTOS, Jorge Augusto de Carvalho²

ISSUE DOI: 10.3738/1982.2278.4218

RESUMO: Segundo último Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2022, documento publicado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB em 2023, consta dentre suas várias recomendações finais, aquela direcionada aos Comitês de Bacias no sentido de promoverem discussões voltadas ao estabelecimento de metas progressivas visando a melhoria dos corpos hídricos, incluindo a ampliação dos níveis de tratamento em suas respectivas unidades de gerenciamento dos recursos hídricos. O mesmo documento também chama atenção para a necessidade de priorização de sistemas de tratamento de esgotos com maior capacidade de remoção de nutrientes direcionados àquelas bacias com reservatórios que são utilizados para abastecimento público, haja vistas a ocorrência de significativos episódios de floração de algas em grande parte do interior do estado. Neste sentido, o presente trabalho se dedica à avaliação da eficiência de 9 (nove) sistemas públicos de tratamento de esgotos pertencentes à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI 8, enfatizando os respectivos índices de tratabilidade e cargas remanescentes relacionados a remoção da matéria orgânica e seus nutrientes associados, a partir da realização de uma campanha de coletas de amostras compostas de esgotos brutos e tratados, bem como de amostras simples de água bruta em pontos de montante e jusante ao lançamento destas unidades nos respectivos corpos hídricos receptores. A partir da compilação e análise dos presentes resultados analíticos, bem como da análise correlacional entre os dados obtidos e as séries históricas pertinentes ao monitoramento oficial da qualidade das águas superficiais interiores feito pela CETESB, traçou-se um diagnóstico ampliado dos índices de tratabilidade baseado nas atuais cargas de lançamentos de matéria orgânica (DBO_{5-20°C}) e de nutrientes (P e série de N), concluindo-se que o estado trófico do Rio Sapucaí-Mirim vem sendo consideravelmente afetado ao longo dos últimos anos, sobretudo, naqueles pontos oficiais de monitoramento situados nos trechos influenciados pelos lançamentos das sub-bacias Alto e Médio Sapucaí.

Palavras-chave: Eficiência de tratamento de esgotos; Remoção de nutrientes; Lagoas de estabilização; Lodo ativado; Eutrofização; Caracterização de esgotos domésticos.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Fugita (2018) é sabido que os atuais sistemas de tratamento de esgotos domésticos em todo o Brasil não contemplam a remoção de nutrientes, de forma com que os efluentes finais tratados acabam por lançar em sua maioria, elevadas cargas remanescentes destes poluentes para os corpos d'água, potencializando a ocorrência do fenômeno conhecido como eutrofização, que nada mais é do que:

O enriquecimento do meio aquático com nutrientes, causando o crescimento de organismos e plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, que podem atingir níveis tais que sejam causadores de interferências aos usos desejáveis do corpo d'água (Mota; Von Sperling, 2009).

Infelizmente, este preocupante cenário não se faz distante da UGRHI 8, pois de acordo com a CETESB/Agência Ambiental de Franca, já houve ocorrências de significativas florações de macrófitas aquáticas nos reservatórios das Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH Palmeiras e Anhanguera, ambas instaladas e em operação no Rio Sapucaí-Mirim desde o início dos anos de

¹ Acadêmico do Curso de Pós-Graduação Lato Sensu, em Gestão de Recursos Hídricos, da FAFRAM/FE

² Docente Convidado junto ao Curso de Pós-Graduação em Gestão de Recursos Hídricos - FAFRAM/FE

2010, bem como de florações de algas e cianobactérias no reservatório da Usina Hidrelétrica – UHE do Jaguará, barragem instalada e em operação no Rio Grande desde 1971.

Certamente, ambos episódios foram resultantes de condições ambientais condizentes ao processo de eutrofização, pesando-se, sobretudo, uma generosa oferta de nutrientes despejados de forma pontual e/ou difusa nos ambientes aquáticos receptores.

Oportunamente, em consonância com tal recomendação é que o presente trabalho se emerge e busca estabelecer um diagnóstico das atuais concentrações médias e respectivas cargas de poluentes provenientes da matéria orgânica e nutrientes constituintes aos esgotos brutos, bem como as concentrações efluentes, cargas médias remanescentes (pós-tratamento) pertinentes às Estações de Tratamento de Esgotos Domésticos – ETE pertencentes à UGRHI 8, com consequente avaliação de possíveis relações “causa-efeito” entre as cargas remanescentes de esgotos domésticos lançadas e os índices oficiais de qualidade monitorados pela CETESB.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 As estações de tratamento de esgotos

O estudo se apoia em metodologia qualiquantitativa e levantamento teórico, aplicados na avaliação do desempenho de nove Estações de Tratamento de Esgotos – ETE instaladas e em operação na UGRHI 8, sendo essas pertencentes aos municípios de Aramina, Batatais, Buritizal, Cristais Paulista, Franca, Guará, Ituverava, Patrocínio Paulista e São José da Bela Vista.

Para tanto, estabeleceu-se três cenários distintos de análise, sendo: *Cenário I* contemplando o conjunto das nove ETE; *Cenário II* contemplando apenas os sistemas aeróbicos de lodo ativado (Batatais e Franca); e *Cenário III* contemplando os sistemas de lagoas de estabilização (Aramina, Buritizal, Cristais, Guará, Ituverava, Patrocínio e São José).

2.2 Realização de campanha de coletas de amostras

A campanha de amostragem foi realizada seguindo o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras de Águas (ANA; CETESB, 2011).

Relativo às amostras dos esgotos brutos e tratados, ou seja, respectivamente entrada e saída das ETE, foram realizadas amostragens compostas em função do tempo (amostragem temporal), sendo essas constituídas pela mistura de alíquotas individuais coletadas a cada uma hora, ao longo de um intervalo de oito horas consecutivas, iniciadas no começo da manhã e com término no meio da tarde (das 8h:00min às 15h:00min).

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 Determinação das concentrações médias

Com os resultados analíticos em mãos, obtidos em laboratório a partir das amostras simples e compostas coletadas na referida campanha de amostragem, foi realizada a depuração estatística dos dados analíticos, de modo a determinar as concentrações médias das variáveis sanitárias Surfactantes – MBAS (substância ativa no azul de metileno), Carbono Orgânico Total – TOC, Nitrogênio Total - NT e Fósforo Total – PT, DBO_{5-20°C}, DQO e Nitrogênio Amoniacal - NA, conforme abaixo tabulado.

Tabela 1: Valores médios das concentrações de interesse presentes no esgoto bruto das 9 ETE:

Grandezas Estatísticas	pH	Temp. água [°C]	Cond. [µS/cm]	DBO _{5-20°C} [mg/l]	DQO [mg/l]	MBAS [mg/l]	TOC [mg/l]	NT [mg/l]	NA [mg/l]	PT [mg/l]
Tamanho (n)	70,00	72,00	51,00	-	-	71,00	56,00	61,00	27,00	72,00
Mínimo	6,88	20,10	414,00	-	-	0,15	98,00	20,00	7,94	2,19
Máximo	7,73	27,20	1303,00	-	-	6,96	332,00	108,00	79,08	11,80
Amplitude	0,85	7,10	889,00	-	-	6,81	234,00	88,00	71,14	9,61
Média	7,26	24,71	772,55	387,46	764,09	2,85	187,64	53,07	35,63	5,82
Desvio Médio	0,17	1,21	198,42	-	-	1,09	39,72	17,26	16,54	1,83
Desvio Padrão	0,21	1,52	224,32	-	-	1,38	50,44	20,26	19,60	2,21
Erro Médio	0,02	0,18	31,41	-	-	0,16	6,74	2,59	3,77	0,26

Tabela 2: Valores médios das concentrações de interesse presentes no esgoto após tratamento das 9 ETE:

Grandezas Estatísticas	pH	Temp. água [°C]	Cond. [µS/cm]	DBO _{5-20°C} [mg/l]	DQO [mg/l]	MBAS [mg/l]	TOC [mg/l]	NT [mg/l]	NA [mg/l]	PT [mg/l]
Tamanho (n)	72,00	72,00	68,00	-	-	69,00	69,00	67,00	27,00	72,00
Mínimo	7,02	16,70	406,00	-	-	0,10	17,00	17,00	4,08	0,30
Máximo	8,83	26,70	909,00	-	-	2,22	118,00	83,00	41,50	6,78
Amplitude	1,81	10,00	503,00	-	-	2,12	101,00	66,00	37,42	6,48
Média	7,59	21,61	664,32	20,49	87,42	0,99	61,94	39,61	26,12	3,86
Desvio Médio	0,28	2,04	164,14	-	-	0,51	19,33	8,76	9,23	1,27
Desvio Padrão	0,40	2,49	180,52	-	-	0,63	25,35	12,44	11,21	1,65
Erro Médio	0,05	0,29	21,89	-	-	0,08	3,05	1,52	2,16	0,19

Fonte: Elaborado pelo Autor

3.2 Determinação das cargas de poluição

Desta forma, a seguir serão demonstrados os resultados das cargas determinadas para três cenários distintos entre si, sendo: *Cenário (i)* contemplando as 9 ETE, ou seja, uma população de 418824 habitantes, representando em torno de 57% de toda população da UGRHI 8; *Cenário (ii)* contemplando somente as ETE do tipo lodo ativado (Batatais e Franca), equivalente ao atendimento de 329979 habitantes, representando em torno de 45% de toda população da UGRHI 8; e *Cenário (iii)* contemplando as 7 ETE do tipo lagoas de estabilização, perfazendo o atendimento de uma população de 88845 habitantes, bem como representando em torno de 12% da população da UGRHI 8.

a. CENÁRIO (I) CONTEMPLANDO TODAS AS 9 ETE

Tabela 3: Cargas e Contribuições *per capita* diárias para esgoto bruto (9 ETE):

Cargas Medidas						Contribuições Aferidas por Habitante					
DBO ₅₋₂₀ [kg/dia]	MBAS [kg/dia]	TOC [kg/dia]	NT [kg/dia]	AMONIACAL [kg/dia]	PT [kg/dia]	DBO ₅₋₂₀ [g/hab.dia]	MBAS [g/hab.dia]	TOC [g/hab.dia]	NT [g/hab.dia]	AMONIACAL [g/hab.dia]	PT [g/hab.dia]
27073,86	175,59	15167,98	5479,9	3128,35	524,73	64,45	0,42	36,22	13,08	7,47	1,25

Tabela 4: Cargas e Contribuições *per capita* diárias para esgoto tratado (9 ETE):

Cargas Remanescentes						Contribuições Remanescentes por Habitante					
DBO ₅₋₂₀ [kg/dia]	MBAS [kg/dia]	TOC [kg/dia]	NT [kg/dia]	N AMONIAL [kg/dia]	PT [kg/dia]	DBO ₅₋₂₀ [g/hab.dia]	MBAS [g/hab.dia]	TOC [g/hab.dia]	NT [g/hab.dia]	N AMONIAL [g/hab.dia]	PT [g/hab.dia]
1386,37	23,12	2328,78	3045,74	2212,57	110,35	3,41	0,06	5,56	7,27	5,28	0,26

Obs: População estudada de 418824 habitantes, representando em torno de 57% de toda população da UGRHI 8.

b. CENÁRIO (II) CONTEMPLANDO SOMENTE AS ETE DO TIPO LODO ATIVADO (BATATAIS E FRANCA)

Tabela 5: Cargas e Contribuições *per capita* diárias para esgoto bruto (Lodo Ativado):

Cargas Medidas						Contribuições Aferidas por Habitante					
DBO ₅₋₂₀ [kg/dia]	MBAS [kg/dia]	TOC [kg/dia]	NT [kg/dia]	N AMONIAL [kg/dia]	PT [kg/dia]	DBO ₅₋₂₀ [g/hab.dia]	MBAS [g/hab.dia]	TOC [g/hab.dia]	NT [g/hab.dia]	N AMONIAL [g/hab.dia]	PT [g/hab.dia]
22480,25	140,05	12713,48	4740,7	2719,25	447,46	68,13	0,42	38,53	14,37	8,24	1,36

Tabela 6: Cargas e Contribuições *per capita* diárias para esgoto tratado (Lodo Ativado):

Cargas Remanescentes						Contribuições Remanescentes por Habitante					
DBO ₅₋₂₀ [kg/dia]	MBAS [kg/dia]	TOC [kg/dia]	NT [kg/dia]	N AMONIAL [kg/dia]	PT [kg/dia]	DBO ₅₋₂₀ [g/hab.dia]	MBAS [g/hab.dia]	TOC [g/hab.dia]	NT [g/hab.dia]	N AMONIAL [g/hab.dia]	PT [g/hab.dia]
364,48	6,26	1185,84	2110,14	1861,87	48,02	1,10	0,02	3,59	6,39	5,64	0,15

Obs: População estudada de 329979 habitantes, representando em torno de 45% de toda população da UGRHI 8.

c. CENÁRIO (III) CONTEMPLANDO AS 7 ETE DO TIPO LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Tabela 7: Cargas e Contribuições *per capita* diárias para esgoto bruto (Lagoas de Estabilização):

Cargas Medidas						Contribuições Aferidas por Habitante					
DBO ₅₋₂₀ [kg/dia]	MBAS [kg/dia]	TOC [kg/dia]	NT [kg/dia]	N AMONIAL [kg/dia]	PT [kg/dia]	DBO ₅₋₂₀ [g/hab.dia]	MBAS [g/hab.dia]	TOC [g/hab.dia]	NT [g/hab.dia]	N AMONIAL [g/hab.dia]	PT [g/hab.dia]
4593,61	35,55	2454,49	739,18	409,11	77,27	51,70	0,40	27,63	8,32	4,60	0,87

Tabela 8: Cargas e Contribuições *per capita* diárias para esgoto tratado (Lagoas de Estabilização):

Cargas Remanescentes						Contribuições Remanescentes por Habitante					
DBO ₅₋₂₀ [kg/dia]	MBAS [kg/dia]	TOC [kg/dia]	NT [kg/dia]	N AMONIAL [kg/dia]	PT [kg/dia]	DBO ₅₋₂₀ [g/hab.dia]	MBAS [g/hab.dia]	TOC [g/hab.dia]	NT [g/hab.dia]	N AMONIAL [g/hab.dia]	PT [g/hab.dia]
1021,89	15,72	959,47	527,67	350,70	57,82	11,50	0,18	10,80	5,94	3,95	0,65

Obs: População estudada de 88845 habitantes, representando em torno de 12% de toda população da UGRHI 8.

3.3 Avaliação das ETE à luz dos referenciais teóricos

a. QUANTO ÀS CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DOS ESGOTOS BRUTOS

Outro aspecto pertinente à caracterização dos esgotos domésticos também perpassa pelas relações estabelecidas entre DQO:DBO, DBO:TOC e DQO:DBO:N:NA:P, conforme visto a seguir.

Tabela 2: Comportamento das relações entre as variáveis sanitárias aferidas:

Cenários	DQO:DBO	DBO:DQO	DBO:TOC	DQO:DBO:NT:NA:PT
I	1,97	0,51	1,779602	131:67:9:6:1
II	1,97	0,51	1,768222	102:52:9:6:1
III	1,98	0,50	1,871513	117:59:9:5:1

Fonte: Elaborado pelo Autor

Verifica-se que as relações DQO:DBO, DBO:DQO e DQO:DBO:NT:PT acima indicam valores condizentes àquelas relações típicas de esgoto doméstico reportadas na literatura nacional para os três cenários propostos, nas quais os parâmetros DQO, DBO e NT apresentaram valores ligeiramente superiores àquelas sugeridas por Von Sperling (2005), conforme visto a seguir.

Quadro 1: Concentrações e relações de referência sugeridas por referência bibliográfica:

Constituinte	Concentrações de Referência		Relações de Referência		
	Faixa	Típica	DQO:DBO	DBO:DQO	DQO:DBO:NT:PT
DBO _{5-20°C} [mg/l]	200-500	350	2	0,50	100:50:7:1
DQO [mg/l]	400-800	700			
NT [mg/l]	35-70	50			
PT [mg/l]	4-15	7			

Fonte: Adaptado de Von Sperling, 2005.

c. QUANTO ÀS TAXAS DE REMOÇÃO DE CARGAS POLUENTES

A seguir estão consolidadas as taxas de remoção envolvendo os três cenários ora propostos no presente estudo.

Tabela 3: Taxas Médias de Remoção dos Poluentes - RP medidas para os três cenários:

Cenários	DBO _{5-20°C} * [%]	TOC [%]	MBAS [%]	N Total [%]	N Amoniacal [%]	P Total [%]
I	94,88	66,99	65,24	25,35	33,72	27,05
II	98,38	84,61	95,58	47,64	71,57	59,06
III	77,75	61,91	59,23	17,32	20,59	7,59

*DBO_{5-20°C} determinada a partir das diferenças entre Cargas Totais afluentes e efluentes: $DBO_{carga} = [(Carga_{aflu} - Carga_{eflu}) / Carga_{aflu}] \cdot 100$
80% < RP < 100% = Cor Azul; 50% < RP < 80% = Cor Laranja; e 0 < RP < 50 = Cor Vermelha.

Fonte: Elaborado pelo Autor

De modo geral, identifica-se que os sistemas de tratamento aerados com lodo ativado relacionados ao *Cenário II* apresentaram desempenho amplamente superior, em especial no que diz respeito à remoção de DBO_{5-20°C} e de Fósforo Total, quando comparados ao *Cenário III*. Já as lagoas de estabilização por sua vez, demonstram discreta deficiência em termos de remoção de DBO_{5-20°C}. Não obstante, o conjunto compreendido como *Cenário III* também apresentou baixíssima capacidade de remoção de PT, NT e NA em comparação com os sistemas aeróbicos com lodo ativado.

A seguir, estão particularizadas as taxas de remoção de poluentes calculadas a partir dos resultados analíticos provenientes das amostras compostas de cada ETE ora estudada.

Tabela 4: Consolidação das taxas de remoção de poluentes em cada ETE:

Variáveis	Aramina	Batatais	Buritizal	Cristais	Franca	Guará	Ituverava	Patrocínio	São José
DBO _{5-20°C} [%]	82,28	95,15	76,53	87,27	98,80	85,67	71,17	78,26	83,71
DQO [%]	61,73	89,36	76,23	78,71	93,58	73,31	60,13	67,72	72,80
N Total [%]	11,48	61,97	44,79	7,84	41,18	44,79	0	38,89	6,98
N Amoniacal [%]	-107,00	86,96	21,70	-54,32	25,96	25,97	17,13	35,17	-38,85
P Total [%]	9,19	42,86	20,14	0	95,00	44,76	26,19	27,49	25,20

80% < RP < 100% = Cor Azul; 50% < RP < 80% = Cor Laranja; 0 < RP < 50 = Cor Vermelha; e RP < 0 = Cor Roxa (negativa).

Fonte: Elaborado pelo Autor

3.4 CORRELAÇÕES DE “CAUSA X EFEITO”: MEDIÇÕES REALIZADAS X ÍNDICES OFICIAIS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

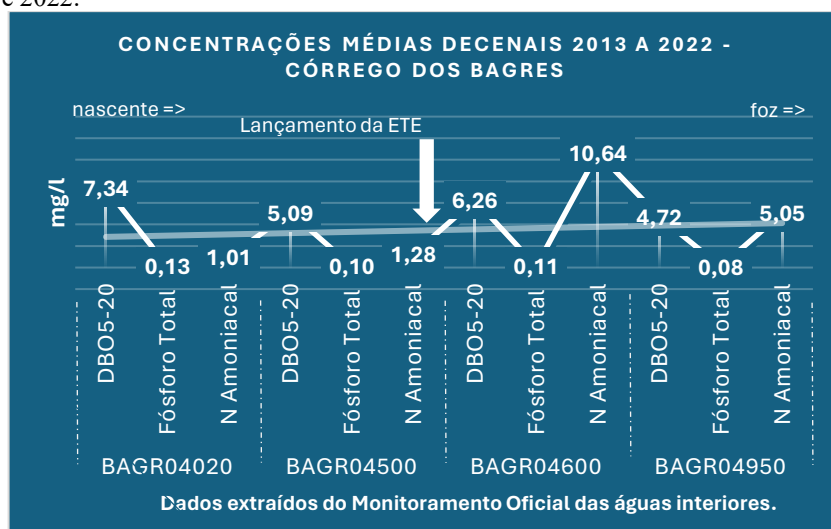
Os resultados acima, bem ilustram e confirmam peremptoriamente o baixo desempenho da grande maioria das ETE em termos de remoção de nutrientes. Dito isto, em continuidade partiu-se para a comparação com as séries históricas publicadas pela CETESB anualmente por meio do Relatório da Qualidade da Águas Interiores do Estado de São Paulo. Outrossim, vale salientar que

para estas comparações fossem possíveis, também se recorreu às séries históricas extraídas diretamente do sistema INFOAGUAS da CETESB, 2023.

Nestes termos, elegeu-se como cenário mais apropriado para uma avaliação *causa x efeito*, o Córrego dos Bagres, corpo receptor da maior carga poluidora da UGRHI 8 (ETE FRANCA e efluentes industriais do Distrito Industrial de Franca), bem como o próprio Rio Sapucaí-Mirim, devido ambos os cursos d'água drenarem as águas servidas para a maior concentração demográfica da bacia, bem como por servir a maior fração da população aqui estudada.

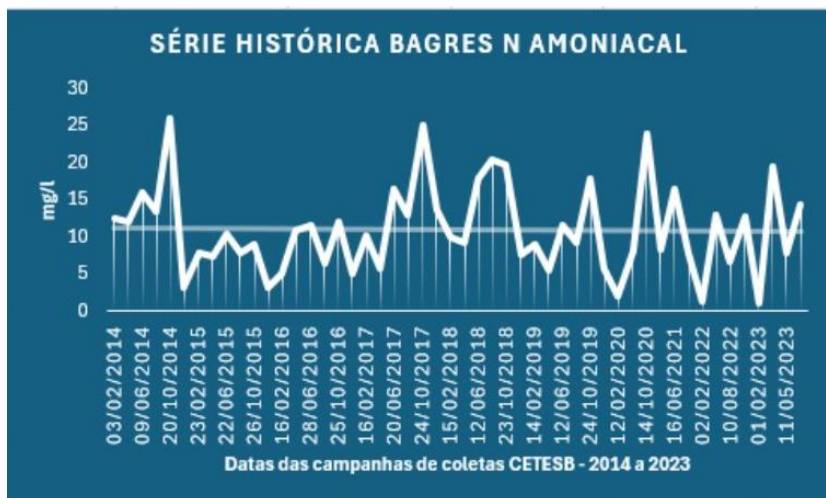
Isso posto, a seguir serão apresentadas as séries históricas decenais (10 anos) referentes às variáveis sanitárias DBO_{5-20°C}, Fósforo Total e Nitrogênio Amoniacal, de modo a se avaliar o comportamento destes poluentes ao longo de todo o percurso do Córrego dos Bagres e analisar se, de fato estas cargas remanescentes podem mesmo afetar os índices oficiais de qualidade ambiental da UGRHI 8, especificamente os pontos de monitoramento localizados no Córrego dos Bagres e no Rio Sapucaí-Mirim.

Figura 1: Concentrações médias decenais determinadas a partir das campanhas de monitoramento feitas pela CETESB – Referência 2013 e 2022.



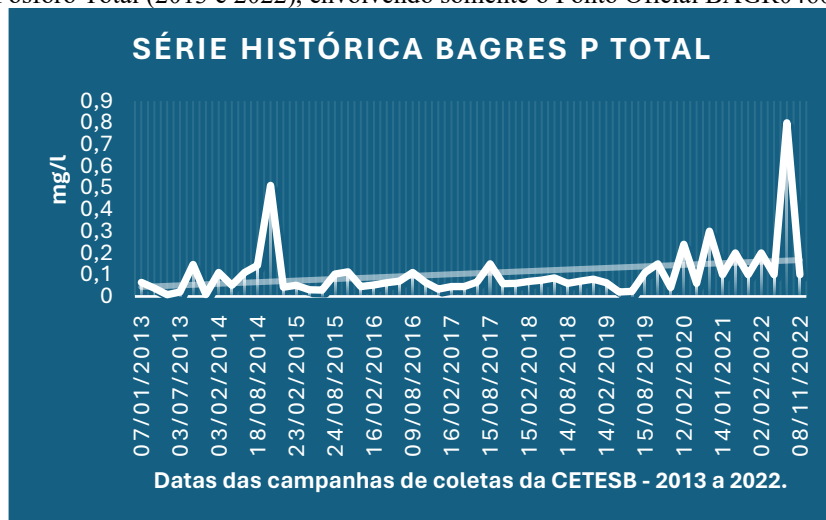
Fonte: INFOAGUAS, CETESB, 2023.

Figura 2: Série de Nitrogênio Amoniacal (2014 e 2023), envolvendo somente o Ponto Oficial BAGR04600, sendo este o primeiro localizado a jusante do lançamento da ETE FRANCA e dos lançamentos industriais do Distrito Industrial de Franca:



Fonte: INFOAGUAS, CETESB, 2023.

Figura 3: Série de Fósforo Total (2013 e 2022), envolvendo somente o Ponto Oficial BAGR04600:



Fonte: INFOAGUAS, Ponto BAGR04600, CETESB, 2023.

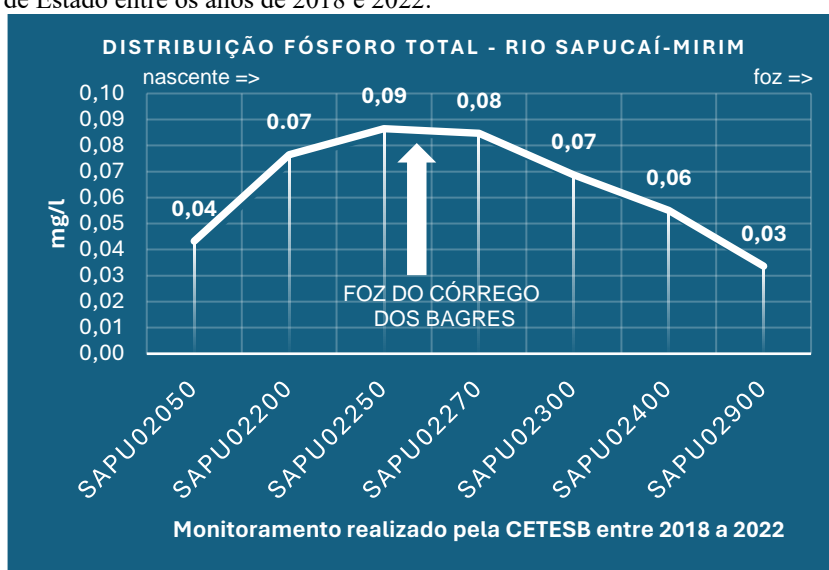
Conforme ilustrado no gráfico da Figura 1, verifica-se que de fato existe significativa depreciação nas condições das águas do Córrego dos Bagres a partir do Ponto BAGR04600, sendo este situada a aproximadamente 11,3km do ponto de lançamento da ETE FRANCA e 10,6km do ponto de lançamento do Distrito Industrial, de modo a sugerir haver nexos de causalidade com as cargas de poluição remanescente de Nitrogênio Amoniacal provenientes dos efluentes tratados pela ETE FRANCA e pelos efluentes tratados oriundos do Distrito Industrial de Franca (em menor proporção), as duas principais fontes de poluição situadas a montante do referido ponto de monitoramento.

Igualmente, verifica-se que a média das medições de N Amoniacal para o ponto ao longo do período compreendido entre 2013 e 2022 ficou na ordem de 10,63mg/l, valor que estaria 2126% acima do valor de referência estabelecido para Classe II, quando evocados os preceitos constantes no item (1) da alínea (d) do Artigo 11 do Decreto Estadual n.º 8468 de 08 de setembro de 1976 e

suas alterações, dispositivo legal no qual se estabelece a concentração máxima de 0,5 mg NA/l para corpos classificados como Classe II no Estado de São Paulo.

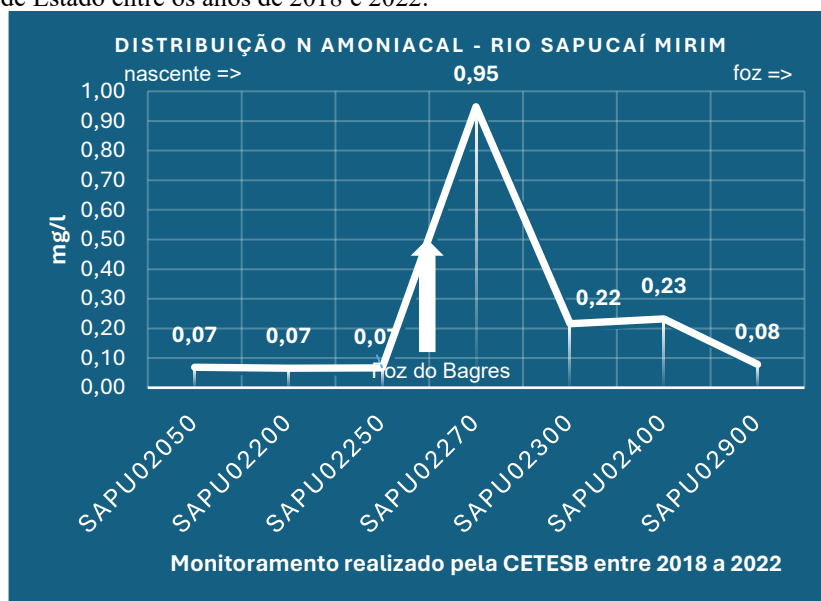
Outrossim, muito embora a variável sanitária P Total não seja atualmente regulada como padrão de qualidade para rios Classe IV, como é o caso do Córrego dos Bagres, verifica-se uma preocupante linha de tendência ascendente para esta variável sanitária no Ponto BAGR04600, que por sinal alcançou seu maior pico em agosto de 2022, com a marca de 0,8 mg/l, ou seja, valor 700% superior ao estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 357/2005 para os rios de Classes I e II (vide Figura 3).

Figura 4: Distribuição do Fósforo Total ao longo da calha do Rio Sapucaí, representada pelos valores médios coletados nos pontos oficiais de Estado entre os anos de 2018 e 2022:



Fonte: INFOAGUAS, CETESB, 2023.

Figura 5: Distribuição do Nitrogênio Amoniacal ao longo Rio Sapucaí, representada pelos valores médios coletados nos pontos oficiais de Estado entre os anos de 2018 e 2022:



Fonte: INFOAGUAS, CETESB, 2023.

Quadro 2: Pontos de Monitoramento do Rio Sapucaí-Mirim e suas respectivas ETE contribuintes ora estudadas:

Contribuintes*	Código dos Pontos	Local/Município
	SAPU02050	Guardinha/Altinópolis
i	SAPU02200	Jusante do Ribeirão Sta Bárbara/Batatais
i e ii	SAPU02250	Rod. SP 334 - Mont. Foz Córrego. dos Bagres/Restinga
i, ii e iii	SAPU02270	Jus. da Foz do Bagres - SJBV
i, ii e iii	SAPU02300	Ponte SJBV/NUPORANGA - SJBV
i, ii, iii e iv	SAPU02400	Rod. 345 - Entre as PCH Palmeiras e Anhanguera
i, ii, iii, iv e v	SAPU02900	Vicinal Guafrá/Rio Grande junto da régua DAEE

*ETE Patrocínio (i); ETE Batatais (ii); ETE Franca (iii); ETE São José (iv); e ETE Guará (v).

Em análise aos resultados apresentados nas séries históricas acima ilustradas (Figuras 4 e 5), se verifica que o ponto SAPU02270, localizado no município de São José da Bela Vista e situado a cerca de apenas 600m da foz do Córrego dos Bagres, se apresenta como sendo o ponto que mais vem sofrendo pressão nos últimos anos, pressão esta imposta pelas cargas de Nitrogênio Amoniacal advindas de sua porção territorial montante (Patrocínio, Batatais e Franca). O mesmo ponto também apresenta a segunda maior média de Fósforo Total na série 2018 a 2022, ficando atrás somente do ponto SAPU02250, primeiro ponto de monitoramento localizado a sua montante, e que já conta com a contribuição das ETE Patrocínio e ETE Batatais, sendo este último sistema de tratamento localizado bem mais próximo do que a ETE Patrocínio. Neste sentido, os resultados para Fósforo Total do ponto SAPU02250 são bastante coerentes quando se leva em perspectiva o baixo índice de remoção deste nutriente por parte da ETE Batatais (apenas 42,86% de remoção).

Desta feita, as séries históricas acima reportadas indicam haver alterações significativas ao estado de qualidade das águas, com destaque às variáveis Fósforo Total e de Nitrogênio Amoniacal, restando-se verificar se tal situação também possa estar vindo a prejudicar os indicadores oficiais de qualidade ambiental monitorados pela CETESB, sobretudo, o denominado Índice de Estado Trófico – IET e o Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas – IVA, uma vez que estes índices estão diretamente relacionados com as referidas variáveis sanitárias.

Figura 6: Mapa IET 2022 da UGRHI 8:



Fonte: Relatório de Qualidade das Águas Interiores, CETESB, 2022.

Conceituação:

IET: O Índice do Estado Trófico tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas.

IVA: O IVA (ZAGATTO et al., 1999) tem o objetivo de avaliar a qualidade das águas para fins de proteção da fauna e flora em geral, diferenciado, portanto, de um índice para avaliação da água para o consumo humano e recreação de contato primário. O IVA leva em consideração a presença e concentração de contaminantes químicos tóxicos, seu efeito sobre os organismos aquáticos (toxicidade) e duas das variáveis consideradas essenciais para a biota (pH e oxigênio dissolvido), variáveis essas agrupadas no IPMCA – Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática, bem como o IET – Índice do Estado Trófico de Carlson modificado por Toledo (1990). Desta forma, o IVA fornece informações não só sobre a qualidade da água em termos ecotoxicológicos, como também sobre o seu grau de trofia (CETESB, 2023).

Conforme demonstrado na Figura 6, os pontos BAGR04600 e BAGR04950 apresentaram “estado eutrófico” no ano de 2022, justamente os dois pontos situados a jusante da ETE FRANCA. A seguir, será demonstrado um compilado histórico compreendido entre os anos de 2013 e 2022 sobre os registros do IET para o Córrego dos Bagres e para o Rio Sapucaí-Mirim.

Tabela 5: Compilado histórico dos registros do IET compreendidos entre 2013 e 2022:

Corpo Hídrico	Pontos	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020*	2021*	2022
Córrego dos Bagres	BAGR04020	-	49	52	51	52	54	51	-	-	51
	BAGR04500	-	65	60	57	58	59	57	-	-	58
	BAGR04600	-	57	56	58	57	56	54	-	-	63
	BAGR04950	-	59	56	56	56	53	52	-	-	60
Rio Sapucaí-Mirim	SAPU02050	48	47	49	48	46	47	51	-	-	50
	SAPU02200	41	41	49	50	49	48	51	-	-	53
	SAPU02250	49	47	50	49	51	48	50	-	-	54
	SAPU02270	39	54	52	54	53	50	49	-	-	58
	SAPU02300	47	47	49	52	51	52	48	-	-	57
	SAPU02400	46	46	50	50	51	49	53	-	-	53
	SAPU02900	41	50	48	49	49	50	49	51	51	50

*Devido ao período da pandemia da COVID 19, infelizmente nestes anos não foi possível a realização das campanhas de amostragem por parte da CETESB.

Fonte: Relatórios de Qualidade das Águas Interiores 2018 e 2022, CETESB, 2023.

Verifica-se que desde quando iniciou a série histórica do IET para o Córrego dos Bagres em 2014, justamente em 2022 foi a primeira vez em que tanto o ponto BAGR04600 e BAGR04950 foram classificados como “eutrófico” no monitoramento realizado pela CETESB. Tal situação de atenção somente havia ocorrido no ponto BAGR04500 nos anos de 2014 e 2015 (períodos de fortes estiagens), ocasião que aquele ponto fora classificado como “supereutrófico” e “eutrófico”, respectivamente. Igualmente, verifica-se que pela primeira vez, cinco dos sete pontos de monitoramento do Rio Sapucaí-Mirim foram classificados como “mesotróficos”, sendo todos estes pontos intermediários à calha do rio e que somente os pontos inicial e final, obtiveram classificação “oligotróficos”.

Então, o passo seguinte foi verificar o possível efeito negativo apontado pelo IET sobre o IVA, tendo em vista que conforme já posto anteriormente, o IVA também leva em consideração o IET, além da ecotoxicidade, pH e OD. Assim, a figura 7 traz a classificação dos pontos quanto ao IVA, de acordo com o Relatório de Qualidade das Águas Interiores, edição 2022, publicado pela CETESB.

Figura 7: Mapa IVA 2022 da UGRHI 8:4



Fonte: Relatório de Qualidade das Águas Interiores, CETESB, 2022.

Verifica-se que o ponto SAPU02270 instalado no Sapucaí-Mirim, aquele localizado a apenas 600m após a foz do Córrego dos Bagres, foi classificado como “regular” (amarelo) ao lado do ponto SAPU02400 (ponto localizados entre as PCH Palmeiras e Anhanguera). Ao mesmo tempo o ponto SAPU02300, primeiro ponto localizado a jusante do pressionado SAPU02270, apresentou pela primeira vez em toda a série histórica do Sapucaí, a condição “ruim” (vermelho) no IVA 2022, situação que requer da devida atenção, tendo em vista que as maiores cargas de poluição remanescentes medidas que contribuem até este ponto, advém do tratamento público do esgotamento sanitário das cidades localizadas à montante.

Tabela 6: Compilado histórico dos registros do IVA compreendidos entre 2013 e 2022:

Corpo Hídrico	Pontos	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Córrego dos Bagres	BAGR04020	-	3,6	2,8	2,5	4,6	4,5	6,5	-	-	2,8
	BAGR04500	-	5,2	5,1	4,4	4,3	3,7	3,8	-	-	3,8
	BAGR04600	-	4,1	3,5	4,0	3,2	3,5	3,3	-	-	4,5
	BAGR04950	-	4,0	3,6	3,5	4,7	3,1	2,9	-	-	4,0
Rio Sapucaí Mirim	SAPU02050	2,6	2,4	3,0	2,9	1,8	2,1	3,1	-	-	2,6
	SAPU02200	2,4	2,9	3,0	2,2	2,3	2,4	2,9	-	-	3,3
	SAPU02250	2,8	1,8	3,2	2,5	2,7	2,4	3,2	-	-	3,3
	SAPU02270	2,0	2,7	3,7	3,6	3,3	2,2	3,0	-	-	4,3
	SAPU02300	2,8	2,7	2,5	2,8	2,5	3,2	2,4	-	-	4,7
	SAPU02400	2,0	2,3	2,6	3,1	2,5	2,5	3,4	-	-	4,1
	SAPU02900	2,1	3,8	2,0	2,5	2,6	2,7	2,8	-	-	3,1

Fonte: Relatórios de Qualidade das Águas Interiores IVA - Anos 2018 e 2022, CETESB, 2023.

Observa-se que opostamente ao Rio Sapucaí-Mirim que descreve 48,21% de classificações tidas como “boa” (verde) e outros 39,28% como “ótima” (azul), o Córrego dos Bagres apresenta 57,14% de classificações apontando para “regular” (amarelo), aparecendo inclusive pontos com classificação “ruim” (vermelho) em cinco oportunidades.

Em levantamento feito a partir de relatórios anteriores (Relatório de Qualidade das Águas Anteriores, CETESB, edição de 2013), verificou-se que o monitoramento do IVA no Rio Sapucaí-Mirim começou a ser realizado no ano de 2011, justamente a partir do ponto SAPU02300 (único ponto avaliado naquele ano), sendo averiguado que de fato, pela primeira vez em 12 anos de monitoramento deste índice de qualidade na UGRHI 8, o Rio Sapucaí-Mirim apresentou um índice IVA “ruim” em sua série histórica. A seguir estão particularizados os índices que compuseram o IVA 2022 “Ruim” para o ponto SAPU02300.

Tabela 7: Resultados e índices parciais que compuseram o IVA (médio) para o Ponto SAPU2300 em 2022:

Ponto	Data	Hora	IVA	IET	FT [mg/l]	IETFT	Clorofila <i>a</i> [µg/l]	IETCLOR	ECOTOXICIDADE <i>Ceriodaphnia dubia</i>	pH	OD
SAPU02300	16/02/22	13h:20min	4,4	53	0,2	61	0,56	45	crônico	7,42	8,08
SAPU02300	11/05/22	13h:10min	4,4	53	0,08	57	0,89	49	crônico	7,35	8,22
SAPU02300	04/08/22	14h:10min	5,4	62	0,04	53	12,03	72	crônico	7,03	8,75

Fonte: Relatórios de Qualidade das Águas Interiores IVA 2022, CETESB, 2023.

Em avaliação aos resultados apresentados na tabela acima, verifica-se que a classificação “ruim” obtida pelo ponto SAPU02300 no IVA 2022 foi influenciada em sua grande parte, pela campanha de coletas realizada em 04/08/2022, dois meses após as coletas atinentes ao presente estudo (ETE FRANCA, coleta feita em 01/06/2022), bem como apenas 6 dias antes da coleta que registrou o maior pico de Fósforo Total na série histórica do ponto BAGR04600 no Córrego dos Bagres, dentro do intervalo de tempo registrado entre os anos de 2013 e 2022, conforme apresentado no gráfico apresentado na Figura 3.

Contudo, tem-se que o IET determinado para o ponto SAPU02300 em 04/08/2022 foi classificado como “eutrófico”, sendo esta classificação deveras impulsionada pelo IETCLOR, variável do IET que remete à clorofila *a*, que por sua vez registrou uma concentração de 12,03 µg/l, maior concentração em toda a série histórica para este ponto de monitoramento. Vale colocar, que segundo o Apêndice C - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade, Qualidade das Águas Doces no Estado de São Paulo (CETESB, 2022), a clorofila *a* é considerada a principal variável hidrobiológica indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos, pois se refere a um pigmento (verde) presente em todos os grupos de algas e cianobactérias, vindo, portanto, a ser um confiável indicador da presença da biomassa fitoplanctônica no meio aquático amostrado. Outra variável que certamente concorreu para a classificação “ruim” do ponto SAPU02300, certamente foi a componente toxicidade, tendo em vista que em todas as três campanhas realizadas em 2022, as amostras indicaram haver “toxicidade crônica” neste ponto de monitoramento. Esta toxicidade

crônica pode estar associada à presença de cianotoxinas nas águas, que são substâncias orgânicas produzidas por várias espécies de cianobactérias como produtos secundários de seu metabolismo (CETESB, 2023), ou seja, mais um efeito deletério ao meio ambiente, muito proporcionado pela disponibilização de significativas cargas de nutrientes nas coleções hídricas afluentes ao Rio Sapucaí-Mirim.

Com relação ao ponto SAPU02270, aquele situado a cerca de 600m logo a jusante do Córrego dos Bagres e que é o primeiro a receber a confluência das maiores cargas de poluição remanescentes aqui levantadas, verifica-se que este também foi o que menos vezes obteve a classificação “ótima” até o presente momento no Sapucaí (somente nos anos de 2013 e 2018), bem como foi o ponto que mais vezes obteve a classificação “regular”, sendo estas registradas em 2015, 2016 e 2022.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Perante o exposto, verifica-se que a afirmação posta logo nas iniciais deste estudo se concretiza de maneira irretocável, precisamente aquela que afirma que de modo geral os atuais sistemas de tratamento de esgotos domésticos em operação no Brasil não possuem suficiente eficiência, quando a necessidade se dirige especificamente à remoção dos nutrientes constituídos pelos elementos Fósforo e Nitrogênio.

Outrossim, acredita-se que o aspecto de maior significância ambiental aqui produzido, ficou mesmo por conta do estabelecimento de uma relação *causa-efeito* claramente evidenciada, na qual sugere que as atuais cargas remanescentes de nutrientes (*causa*), em especial aquelas cargas emitidas pelas ETE situadas nas sub-bacias Alto e Médio Sapucaí, possam estar contribuindo sobremaneira para o decréscimo da qualidade do Rio Sapucaí-Mirim (*efeito*) nos últimos anos, especificamente no trecho do rio compreendido entre os pontos oficiais de monitoramento SAPU02270 e SAPU02300, ambos pontos localizados no município de São José da Bela Vista (Médio Sapucaí).

Isso posto, o presente teor conclusivo faz-se quórum ao último parágrafo do ‘Capítulo 10’ do Relatório de Qualidade das Águas Interiores da CETESB, 2022, trecho no qual se reforça e recomenda que:

A gestão adequada da carga orgânica e de nutrientes lançados nos corpos de água do estado, envolve também a discussão no âmbito dos comitês de bacias hidrográficas, pois engloba políticas de desenvolvimento urbano, saneamento e recursos hídricos, adoção de boas práticas agrícolas, bem como de políticas e ações de controle de poluição em nível municipal e estadual exigindo, portanto, a efetiva participação e articulação de várias instituições da esfera pública e da sociedade civil organizada (CETESB, 2022).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANAMENTO BÁSICO, COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Guia Nacional de Coletas e de Preservação de Amostras - Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos**, ANA/CETESB, 2011. Disponível em:

<chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/Guia-nacional-de-coleta-e-preservacao-de-amostras-2012.pdf>

Acesso em: 11 out. 2023.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Decreto Estadual n.º 8468** de 08 de setembro de 1976, Aprova o Regulamento da Lei n. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente, Estado de São Paulo, 1976. Disponível em:

[//efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/Dec8468.pdf](efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/Dec8468.pdf) Acesso em: 20 de set. de 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Apêndice C - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**, p. 39, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>

Acesso em: 20 de dez. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Apêndice K - Médias dos Índices 2008 a 2013**, p. 15, 2022. Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>

Acesso em: 20 de dez. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Apêndice M - Médias dos Índices 2013 a 2018**, p. 10 e 34, 2022. Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>

Acesso em: 20 de dez. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Apêndice M - Médias dos Índices 2017 a 2022**, p. 22 e 33, 2022. Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>

Acesso em: 20 de dez. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**, CETESB, p. 268, 2021. Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>

Acesso em: 20 de dez. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**, CETESB, p. 280, 2022 Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>

Acesso em: 20 de dez. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, **Sistema de Informação INFOAGUAS**, CETESB, 2023. Disponível em:

<https://sistemainfoaguas.cetesb.sp.gov.br/Home> Acesso em: 29 de dez. 2023.

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 ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. CONAMA, 2005.

<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=102255> Acesso em 21 de dez. de 2023.

FUGITA, S. R. **Fundamentos do Controle de Poluição das Águas** - Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais, Escola Superior da CETESB, Módulo III, p. 23 e 158, 2018. Disponível em:

[/https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/33/2018/07/Apostila-Fundamentos-do-Controle-de-Poluicao-das-Aguas.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/33/2018/07/Apostila-Fundamentos-do-Controle-de-Poluicao-das-Aguas.pdf) Acesso em: 18 de ago. de 2023.

VON SPERLING, M.; CORAUCCI FILHO B.; MONZEGGIA L.O.; PIVELI R.P. Remoção de nutrientes em sistemas naturais. In: BASTOS F.S.; VON SPERLING M., coordenadores. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro (RJ): ABES; 2009. p. 32. Projeto PROSAB.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. In. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. V. 1. P.452. DESA. UFMG: Belo Horizonte, 2005.