

Avaliação de alternativas para a destinação de efluentes sanitários tratados em cinco municípios do estado de São Paulo: ênfase no potencial de reúso da água

Assessment of alternatives for the disposal of treated sanitary wastewater in five municipalities in the state of São Paulo: emphasis on the potential for water reuse

Carolina Harue Nakamura^{1*} , Jane Cristina Caparica Ferreira Domingues¹ ,
José Antônio Oliveira de Jesus¹ , José Carlos Mierzwa² , Heitor Collet de Araujo Lima³ 

RESUMO

As crises hídricas que o estado de São Paulo vivenciou evidenciam a fragilidade dos mananciais como um todo, principalmente no que diz respeito ao abastecimento público e à produção de energia. Na porção paulista da Bacia Hidrográfica do Rio Grande, esses problemas são ainda mais acentuados e, quando somados às questões de poluição dos corpos hídricos, os quais apresentam baixa capacidade de assimilação de poluentes, tornam a gestão da água um desafio considerável. O Plano Integrado de Recursos Hídricos (PIRH) para a Bacia do Rio Grande destacou que os corpos receptores dos efluentes tratados de cinco municípios – Catanduva, Leme, Mogi Mirim, Ribeirão Preto e Sertãozinho – exibem diversos trechos nos quais a concentração de DBO ultrapassa o padrão de qualidade estabelecido para a sua classe. Essa condição é observada em muitas bacias hidrográficas brasileiras. Com o intuito de contribuir para a atenuação desse problema, este estudo buscou identificar opções para a destinação de efluentes tratados nas estações de tratamento de esgoto (ETEs), incluindo uma avaliação dos custos totais, tanto de capital quanto de operação. O aprimoramento dos processos de tratamento de esgotos e o reúso de água foram identificados como opções com maior benefício potencial, levando em consideração as características específicas de cada município. Os custos estimados para a obtenção de água de reúso para uso industrial mostraram-se baixos quando comparados às tarifas de água das concessionárias. Entretanto, os custos de implantação e operação apresentados neste estudo, tanto para tratamento quanto para adução, foram considerados onerosos pelos municípios, pois ultrapassam a sua capacidade de investimento. Essa condição destaca a necessidade de estratégias mais eficazes na gestão dos serviços públicos de saneamento, incluindo o estabelecimento de parcerias público-privadas.

Palavras-chave: reúso da água; efluentes sanitários; alternativas para destinação de efluentes tratados; Bacia do Rio Grande.

ABSTRACT

The water crises that the state of São Paulo experienced in recent years have shown the fragility of water sources as a whole, especially for public supply and energy production. In the São Paulo portion of the Rio Grande Drainage Basin, these problems are more pronounced and, when added to the pollution problems of its rivers, with low assimilation of pollutants, water management becomes a great challenge. The PIRH Grande highlighted that the rivers receiving treated wastewater from five cities – Catanduva, Leme, Mogi Mirim, Ribeirão Preto, and Sertãozinho – present several portions in which the concentration of BOD exceeds the limit of its quality standards, a condition that is verified in many water bodies in many regions of the country. In order to minimize the identified problem, this study focused on the identification of options to the final destination of the treated wastewater from each WTP considering capital and operational expenditure costs. The improvement of the wastewater treatment processes and water reuse have been identified as the options with the highest potential benefit, considering the specific conditions of each municipality. The estimated costs for obtaining water reuse for industrial purposes were considered low when compared to the concessionaries' water rates. However, the implementation and operating costs presented in this study, both for treatment and for adduction, were considered onerous by the municipalities, since they exceeded their investment capacity. This condition indicates the need for the development of better management strategies for public sanitation services, including public-private partnerships.

Keywords: water reuse; sanitary wastewater; alternatives for disposal of treated sanitary wastewater; Rio Grande Basin.

¹COBRAPE - Cia. Brasileira de Projetos e Empreendimentos – São Paulo (SP), Brasil.

²Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – São Paulo (SP), Brasil.

³Collet e Burri Engenharia – São Paulo (SP), Brasil.

*Endereço para correspondência: Rua Fradique Coutinho, 212 – 9º Andar – Pinheiros, São Paulo, SP, CEP: 05416-000. e-mail: carolinanakamura@cobrape.com.br

1. INTRODUÇÃO

Em tempos de incertezas climáticas e crises hídricas recorrentes, a garantia do abastecimento de água é, inegavelmente, um dos principais desafios para a sustentabilidade urbana e ambiental. Na região Sudeste, especialmente no estado de São Paulo, as últimas crises hídricas afetaram diversos usos e usuários das águas, com significativa diminuição da disponibilidade hídrica nos rios e nos níveis de reservatórios. Isso teve efeitos diretos na produção de energia, no abastecimento público e em diversas atividades econômicas, destacando a fragilidade da bacia hidrográfica como um todo (CARMO e ANAZAWA, 2017; ANA, 2022).

A Bacia Hidrográfica do Rio Grande, que abrange 143 mil km² nos estados de São Paulo (40%) e Minas Gerais (60%), exemplifica esses problemas. Principalmente em eventos de seca extrema, as disponibilidades hídricas, já reduzidas, somam-se aos problemas de poluição, devido às elevadas concentrações de matéria orgânica (DBO_{5,20}) nos corpos d'água. Esses corpos não têm capacidade de diluição ou autodepuração, comprometendo suas qualidades, especialmente em áreas urbanas mais densamente povoadas na bacia (ANA e CBH-GRANDE, 2017).

Diante desse cenário desafiador, o Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Grande (PIRH-Grande) (ANA e CBH-GRANDE, 2017) destacou esses problemas e analisou cenários futuros preocupantes. Vários trechos estariam em conflito com os padrões da classe 4 de enquadramento. Com base nesses estudos, visando melhorar a qualidade dos corpos hídricos para níveis de classe 3 ou superiores, o Plano indicou a necessidade de elaboração de estudos de soluções alternativas para a disposição final dos efluentes sanitários tratados em municípios previamente selecionados, considerando critérios como porte populacional, índices de cobertura de esgotamento sanitário, eficiência de remoção de carga orgânica nos sistemas de tratamento existentes, qualidade da água do corpo receptor em termos de concentração de DBO e discussões entre as partes interessadas.

Diversas opções de soluções técnicas consolidadas na prática de engenharia para a destinação de efluentes tratados de ETEs, levando em conta as limitações de assimilação dos corpos receptores e a legislação ambiental

aplicável, foram contextualizadas por Crites *et al.* (2000) *apud* Espeschit (2021), Salati, Salati Filho e Salati (2009), Fukasawa e Mierzwa (2020a, 2020b) e IICA e ANA (2022).

Crites *et al.* (2000) *apud* Espeschit (2021) descrevem que a disposição controlada dos efluentes sanitários no solo, considerando aspectos sanitários de contaminação, possibilita a reincorporação de nutrientes no solo (fósforo e nitrogênio), recarga de aquífero e elevada eficiência na remoção de DBO, sólidos suspensos e organismos patogênicos. Salati, Salati Filho e Salati (2009 e IICA e ANA (2022) mencionam que os *wetlands* construídos são ecossistemas artificiais com diferentes tecnologias, desenvolvidas para o tratamento de efluentes, auxiliando na melhoria da qualidade da água. Fukasawa e Mierzwa (2020a) relatam que o reúso da água não potável é a alternativa de destinação de efluentes sanitários mais empregada em todo o mundo, especialmente em regiões com escassez de água. De acordo com Fukasawa e Mierzwa (2020b), a água de reúso é majoritariamente utilizada para atendimento de irrigações agrícolas (32%) e de parques e jardins (20%), e para demanda industrial (19%).

Nesse sentido, o presente estudo apresenta uma avaliação das opções existentes para a destinação dos efluentes tratados, com ênfase no potencial de reúso da água, em cinco municípios selecionados no estado de São Paulo — Catanduva, Leme, Mogi Mirim, Ribeirão Preto e Sertãozinho –, inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio Grande. Segundo o PIRH-Grande, esses municípios apresentam corpos hídricos com baixa capacidade de diluição da carga orgânica remanescente do tratamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido em seis etapas, começando com o diagnóstico dos sistemas de esgotamento sanitário (SES) e a identificação dos problemas relacionados à qualidade das águas nos corpos hídricos receptores dos cinco municípios estudados. Essa avaliação levou em consideração o tempo de permanência dos corpos receptores no enquadramento, com base em informações fornecidas pelas prestadoras de serviço de esgotamento sanitário, e quando não disponíveis, por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

Com base nesses dados, realizou-se um estudo abrangente de opções e soluções técnicas existentes, consideradas apropriadas e consolidadas na prática da engenharia para a destinação de efluentes tratados de estações de tratamento de esgotos (ETEs) municipais. Essa análise levou em conta as limitações de assimilação de cada corpo hídrico receptor.

A etapa subsequente envolveu o mapeamento dos potenciais usuários dos efluentes tratados. Isso incluiu o traçado de uma circunferência com as ETEs municipais como centro e os limites territoriais de cada município estudado como raio. Com base nessas áreas delimitadas, os usuários industriais e agrícolas foram identificados e selecionados com base nas maiores vazões outorgadas registradas no Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), configurando-os como potenciais beneficiários da água de reúso.

Em seguida, houve uma interação com os potenciais usuários e as prestadoras de serviço de esgotamento sanitário para avaliar suas percepções sobre a oportunidade e os desafios em receber os efluentes tratados das ETEs municipais.

Conhecendo as percepções dos municípios, foram delineadas alternativas adequadas para cada um, visando mitigar os impactos resultantes dos lançamentos de esgotos tratados pelas ETEs, considerando a vocação de reúso identificada preliminarmente. Para tanto, foram aplicadas duas estratégias analíticas: (i) síntese temática, organizando e sintetizando informações em 10 temas relevantes ao estudo; e (ii) análise qualitativa temática, criando uma matriz e atribuindo valores qualitativos dentro de uma escala numérica com base na síntese temática observada.

Em seguida, as condições qualitativas dos corpos hídricos receptores foram avaliadas por meio de simulações com o modelo matemático de qualidade da água empregado no Atlas Esgotos (ANA, 2017). Esse modelo foi estruturado para calcular a concentração do parâmetro DBO no trecho final de cada ottobacia, utilizando uma abordagem denominada análise acumulada (**Figura 1**). Isso permitiu avaliar o impacto dos efluentes tratados nos corpos receptores de montante para jusante em cada município, nos anos de 2021 e 2031, considerando dois

cenários: (i) “Sem melhorias”, sem adoção de alternativas de reúso; e (ii) “Com melhorias”, onde alternativas de reúso foram consideradas.

Posteriormente, foram estimados os custos de capital (CAPEX) e de operação e manutenção (OPEX) para verificar a viabilidade das alternativas propostas para cada município. Essa análise considerou informações sobre as características das instalações de reúso, o tipo de reúso previsto, os potenciais usuários identificados, o arranjo de tratamento, as características da reservação e adução da água de reúso, além das curvas de custo em função da vazão do efluente tratado adaptadas por IICA e ANA (2022) dos estudos de U.S. EPA (2005), Brites (2010), Plumlee *et al.* (2014), Lo, McAdam e Judd (2015) e Fukasawa (2021).

Finalmente, foi realizada uma segunda interlocução com as prestadoras municipais de serviço de esgotamento sanitário para apresentar os resultados do estudo, incluindo as alternativas propostas para a destinação dos efluentes tratados e os custos de capital e operacionais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As **Tabelas 1 e 2** apresentam os resultados do diagnóstico do SES e a permanência no enquadramento dos corpos hídricos receptores, respectivamente.

O diagnóstico dos sistemas de esgotamento sanitário dos municípios estudados revelou índices de coleta e tratamento de esgotos superiores a 90 e 85%, respectivamente. Entretanto, a eficiência de remoção de DBO observada em duas ETEs foi considerada baixa, ou seja, em Sertãozinho a eficiência era inferior a 50%, e em Leme, inferior a 90%.

A qualidade da água dos corpos receptores demonstrou condições satisfatórias em termos do parâmetro DBO, atendendo a maior parte do tempo aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para suas respectivas classes de enquadramento. A exceção foi percebida no Ribeirão do Meio, em Leme, que permaneceu na classe 2 em 33,3% do tempo. Por outro lado, evidências de aporte de esgoto doméstico nos corpos d'água foram observadas devido à presença de *Escherichia coli* e fósforo total em concentrações elevadas, indicado pelo tempo de permanência nulo no enquadramento na maioria dos pontos monitorados.

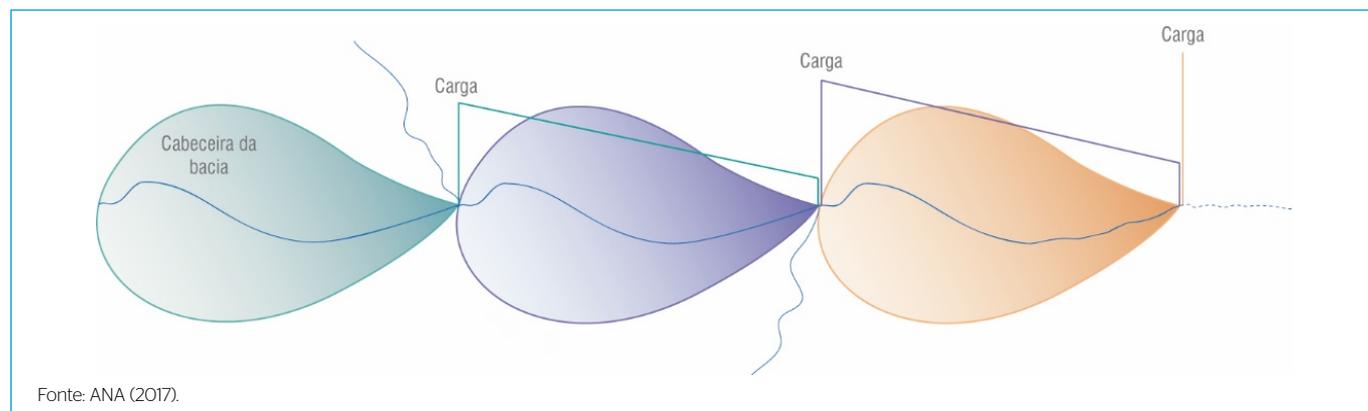


Figura 1 – Representação da análise acumulada.

Tabela 1 – Indicadores do sistema de esgotamento sanitário municipais.

Município	Índice de esgoto ⁽¹⁾		ETE ⁽²⁾				
	Coleta (%)	Tratamento sobre coletado (%)	Nome	Sistema de tratamento	Capacidade nominal (L/s)	Eficiência de remoção de DBO (%)	Carga de DBO remanescente do tratamento (kg/dia)
Ribeirão Preto	99,6	100	Ribeirão	Lodo ativado convencional	1.750	95,0	1.345,1
			Caiçara	Lodo ativado com aeração prolongada	300	98,0	
Mogi Mirim	92,6	90,9	Mogi Mirim	Lodo ativado com aeração prolongada, nitrificação e desnitrificação biológica	150 ^(a)	96,1	111,8
Sertãozinho	99,6	100	Sertãozinho	Lagoa de estabilização do tipo sistema australiano	137	49,0	1.164,7
Leme	97,9	100	Anselmo Luigi Faggion	Lagoa aerada + decantador	450	85,0	1.390,4
Catanduva	97,8	85,2	Catanduva	Lagoa aerada de mistura completa + lagoa de sedimentação	445	91,5	905,1

Fonte: ⁽¹⁾SNIS (2020); ⁽²⁾IICA e ANA (2022).

^(a)Em 2021, a capacidade nominal da ETE Mogi Mirim considerava dois módulos independentes de tratamento. Ainda, a ETE encontrava-se em processo de ampliação, com a instalação de mais um módulo de tratamento, aumentando a capacidade nominal para 225 L/s.

A etapa seguinte identificou as opções para a destinação dos efluentes tratados. As soluções técnicas selecionadas previamente e que melhor se adequariam à realidade dos municípios estudados foram:

- Disposição controlada de efluentes no solo e recarga de aquíferos: pode ser adotada quando não é possível efetuar o lançamento em corpos hídricos, seja pela distância ou para minimizar problemas de poluição. Esta técnica foi estudada por Dos Santos (2018) na Lagoa da Conceição, em Florianópolis, no estado de Santa Catarina;
- Alagados “wetlands” construídos: estruturas artificiais adotadas em regiões em que não existam alagados naturais adequados, sendo uma técnica mais adequada ao

tratamento de efluentes em pequenas comunidades, como estudado por Boratto, Barreto e Sezerino (2021);

- Alteração no ponto de lançamento do efluente tratado: mostra-se viável em duas situações — quando há confluência próxima, a jusante do atual lançamento, com um corpo hídrico de maior vazão e capacidade de assimilação suficiente, e quando o lançamento ocorre em ambiente lântico ou em tributário próximo ao ambiente lântico;
- Melhoria da qualidade do efluente para lançamento superficial: pode ser aplicado quando o tratamento secundário convencional não atinge a eficiência necessária para a manutenção de enquadramento dos corpos hídricos receptores;

Tabela 2 - Permanência no enquadramento dos corpos hídricos receptores.

Município	Ponto	Corpo hídrico	Classe de enquadramento	Permanência no enquadramento em 2019 (%)			
				DBO ^(b)	OD	P _{Total} ^(b)	E. coli ^(b)
Ribeirão Preto	PARDO2500	Rio Pardo	2	100,0	100,0	100,0	0,0
	RIPEO4900	Ribeirão Preto	4	100,0	100,0	0,0	0,0
Mogi Mirim ^(a)	MOGU02160	Rio Mogi Guaçu	2	83,3	83,3	33,3	0,0
	MOGU02200			100,0	83,3	0,0	50,0
Sertãozinho	SETAO4600	Ribeirão Sertãozinho	4	100,0	66,7	11,1	0,0
Leme	MEIO02900	Ribeirão do Meio	2	33,3	66,7	0,0	0,0
Catanduva	SDOM04300	Rio São Domingos	4	100,0	100,0	33,3	50,0
	SDOM04500			66,7	50,0	0,0	0,0

Nota: ^(a)Mogi Mirim não apresenta pontos de monitoramento localizados no corpo hídrico receptor da ETE Mogi Mirim. Desta maneira, considerou-se os pontos do município de Mogi Guaçu, localizados a montante e a jusante da ETE Mogi Mirim; ^(b)Os parâmetros DBO, P_{Total} e E. coli não apresentam padrões de qualidade da água definidos para a classe 4, impossibilitando a comparação com os limites de concentração preconizados na legislação. Para efeitos de análise, os corpos receptores enquadrados na classe 4 foram comparados com os padrões de qualidade definidos para a classe 3. Especificamente para E. coli, este apresenta relação proporcional igual aos coliformes termotolerantes. Dessa forma, os valores foram comparados com os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para coliformes termotolerantes. DBO: demanda bioquímica de oxigênio; OD: oxigênio dissolvido; P_{Total}: fósforo total; E. coli: *Escherichia coli*

Legenda:	Permanência	Ótima	Boa	Regular	Péssima
		> 80%	> 50% e ≤ 80%	> 20% e ≤ 50%	≤ 20%

Fonte: adaptado de CETESB (2020).

- Reúso da água: a prática mais comum é o reúso não potável direto (RNPD), sendo destinado a usos menos nobres, reduzindo as pressões sobre os mananciais, que são liberadas para o uso de água para atendimento mais nobres. Esta alternativa foi estudada pela Embrapa Hortaliças (2021) em uma ETE experimental localizada no Distrito Federal, que possibilitou o reúso da água para irrigação de cultivo de hortaliças.

A terceira etapa consistiu na primeira rodada de interlocução com os municípios, com o objetivo de compreender as condições de saneamento locais e apresentar as alternativas previamente selecionadas para a destinação dos efluentes das ETES municipais. Esta interlocução foi considerada positiva, permitindo confirmar e/ou atualizar as informações levantadas secundariamente sobre o SES e compreender a percepção sobre a implementação de alternativas para a destinação dos efluentes tratados das ETES, visando a melhoria na qualidade da água do corpo receptor.

Paralelamente à primeira interlocução com os municípios, foi realizado o mapeamento de potenciais usuários de água de reúso. Inicialmente, foram identificados 172 empreendimentos no entorno das ETES Caiçara e Ribeirão, em Ribeirão Preto, ETE Mogi Mirim, em Mogi Mirim, ETE

Sertãozinho, em Sertãozinho, ETE Anselmo Luigi Faggion, em Leme, e ETE Catanduva, em Catanduva. Após a adoção do critério das maiores vazões outorgadas, o quantitativo de empreendimentos reduziu para 72 potenciais usuários industriais e agrícolas. Na sequência, buscou-se os contatos de cada empresa, resultando em um total de 38 empresas a serem contatadas. Os motivos para esta diminuição foram contato não encontrado ou encerramento das atividades. O retorno desta interlocução foi baixo, em que apenas 0,5% das empresas responderam ao primeiro contato e ao questionário enviado, 24% responderam no ato da ligação que não tinham interesse na aquisição de água de reúso, 58% ficaram de responder ao questionário, mas não deram retorno, e 16% não quiseram responder após a identificação do propósito do estudo. Na **Figura 2** está apresentado o mapeamento dos potenciais usuários de Mogi Mirim, um dos cinco municípios estudados.

As estratégias analíticas adotadas após a primeira interlocução com os municípios, juntamente com o mapeamento dos potenciais usuários, possibilitaram definir as alternativas previamente elencadas, como apresentado no **Quadro 1**, que inclui o tipo de alternativa selecionada, a especificidade de uso e a justificativa para a implementação da alternativa selecionada.

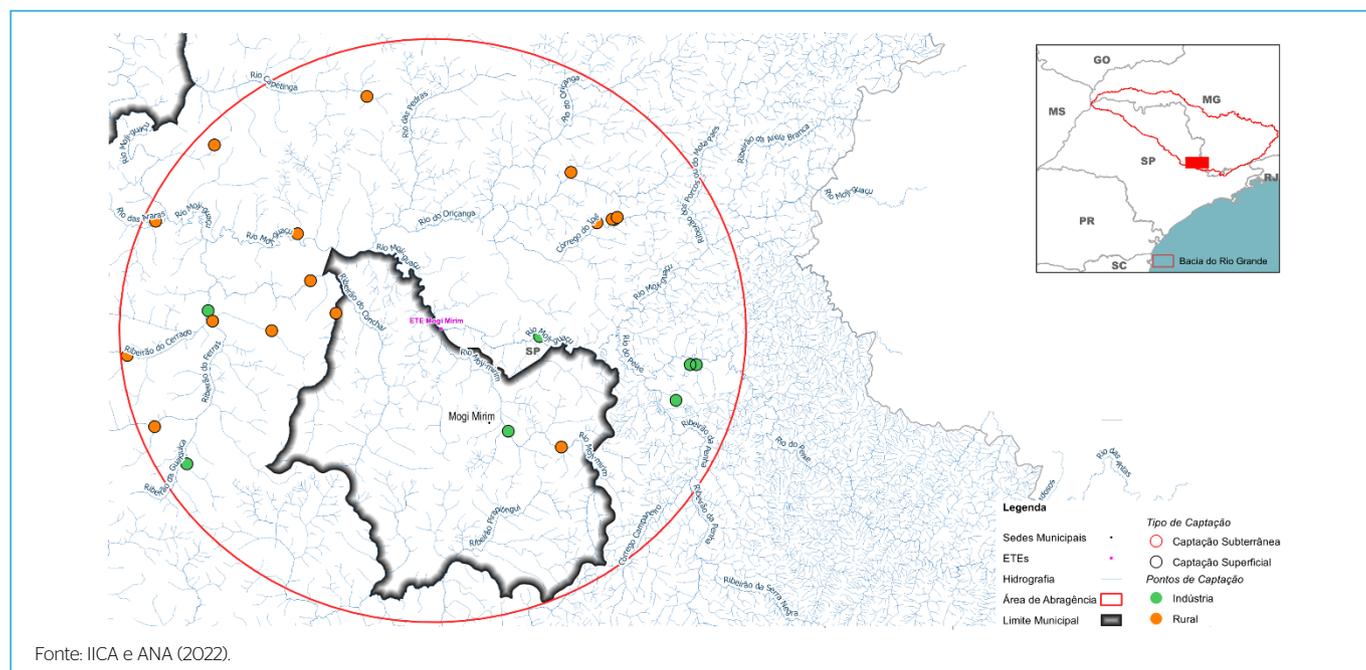


Figura 2 - Mapeamento dos potenciais usuários de água de reúso em Mogi Mirim.

Quadro 1 - Alternativas selecionadas para os municípios estudados.

Município	Tipo de destinação	Especificidade	Justificativa
Catanduva	RNPD	Uso agrícola - restrito	Há disponibilidade de usuários irrigantes, nos arredores da ETE Catanduva. Implantação de filtração terciária ou ultrafiltração seguida de desinfecção é compatível com a condição atual do município.
Leme ^(a)	Melhoria da qualidade para lançamento	Verificação das capacidades hidráulica e de carga do tratamento secundário da ETE atual e adaptação se necessário. Previsão de sistema físico-químico para remoção de fósforo total e de cloração/decloração para desinfecção	A ETE Anselmo Luiggi Faggion possui problemas referentes à capacidade de remoção de DBO, que tende a se agravar por estar supostamente subdimensionada. Além disso, é necessária remoção de fósforo total e de coliformes para adequação da qualidade.
Mogi Mirim	RNPD	Uso industrial (menos exigente)	O distrito industrial de Mogi Mirim concentra potenciais usuários de água de reúso para diversas finalidades.
Ribeirão Preto	RNPD	Uso industrial (mais exigente)	Proximidade de distrito industrial à ETE Ribeirão pode viabilizar iniciativas de reúso.
Sertãozinho ^(a)	Melhoria da qualidade para lançamento	Proposição de adoção de processos de tratamento com maior eficiência, como lodos ativados, que permitirão adaptações futuras para remoção de nutrientes e inativação de coliformes	A ETE Sertãozinho possui ainda problemas referentes à capacidade de remoção de DBO (inferior a 50%). As adaptações em andamento preveem processos com eficiência limitada, como UASB e lagoa de polimento. Além disso, é necessária remoção de fósforo total e de coliformes para adequação da qualidade.

^(a)As alternativas de melhoria da qualidade para lançamento também consideraram a possibilidade de reúso não potável; RNPD: reúso não potável direto.

Os resultados das simulações de qualidade da água, constantes na **Tabela 3**, mostraram que a adoção de melhorias propostas impactaria positivamente na qualidade dos corpos receptores a jusante do lançamento das ETEs, principalmente em Sertãozinho e Leme, reflexo do aumento do índice de tratamento e da eficiência de remoção de DBO. Tais situações podem ser visualizadas na **Figura 3**, em que estão ilustrados os cenários “Sem melhorias” e

“Com melhorias” nos municípios de Sertãozinho e Leme para os anos de 2021 e 2031. Essa figura mostra a classe de enquadramento equivalente do corpo hídrico simulado e as cargas de DBO no início e ao final do trecho de simulação. Em Sertãozinho, por exemplo, no Cenário “Sem melhorias”, a classe equivalente no Ribeirão do Sul, corpo receptor da ETE Sertãozinho, seria igual a 4. Adotando as alternativas de destinação dos efluentes tratados, o corpo

Tabela 3 - Resultados da modelagem matemática.

Cenário	Município	Ribeirão Preto		Catanduva	Mogi Mirim	Sertãozinho	Leme
	Corpo Receptor	Rio Pardo (ETE Caiçara)	Ribeirão Preto (ETE Ribeirão)	Rio São Domingos	Rio Mogi Guaçu	Ribeirão do Sul/ Sertãozinho	Ribeirão do Meio
	Enquadramento	2	4	4	2	4	2
2021	Carga da ETE (kg DBO/dia)	238	439	1.123	114	1.165	1.400
	Classe equivalente	1	1	4	1	4	4
2031 Sem Melhorias	Carga da ETE (kg DBO/dia)	250	460	1.143	188	3.545	1.495
	Classe equivalente	1	1	4	1	4	4
2031 Com Melhorias	Carga da ETE (kg DBO/dia)	242	455	770	176	146	193
	Classe equivalente	1	1	4	1	1	1

ETE: estação de tratamento de esgoto; DBO: demanda bioquímica de oxigênio.

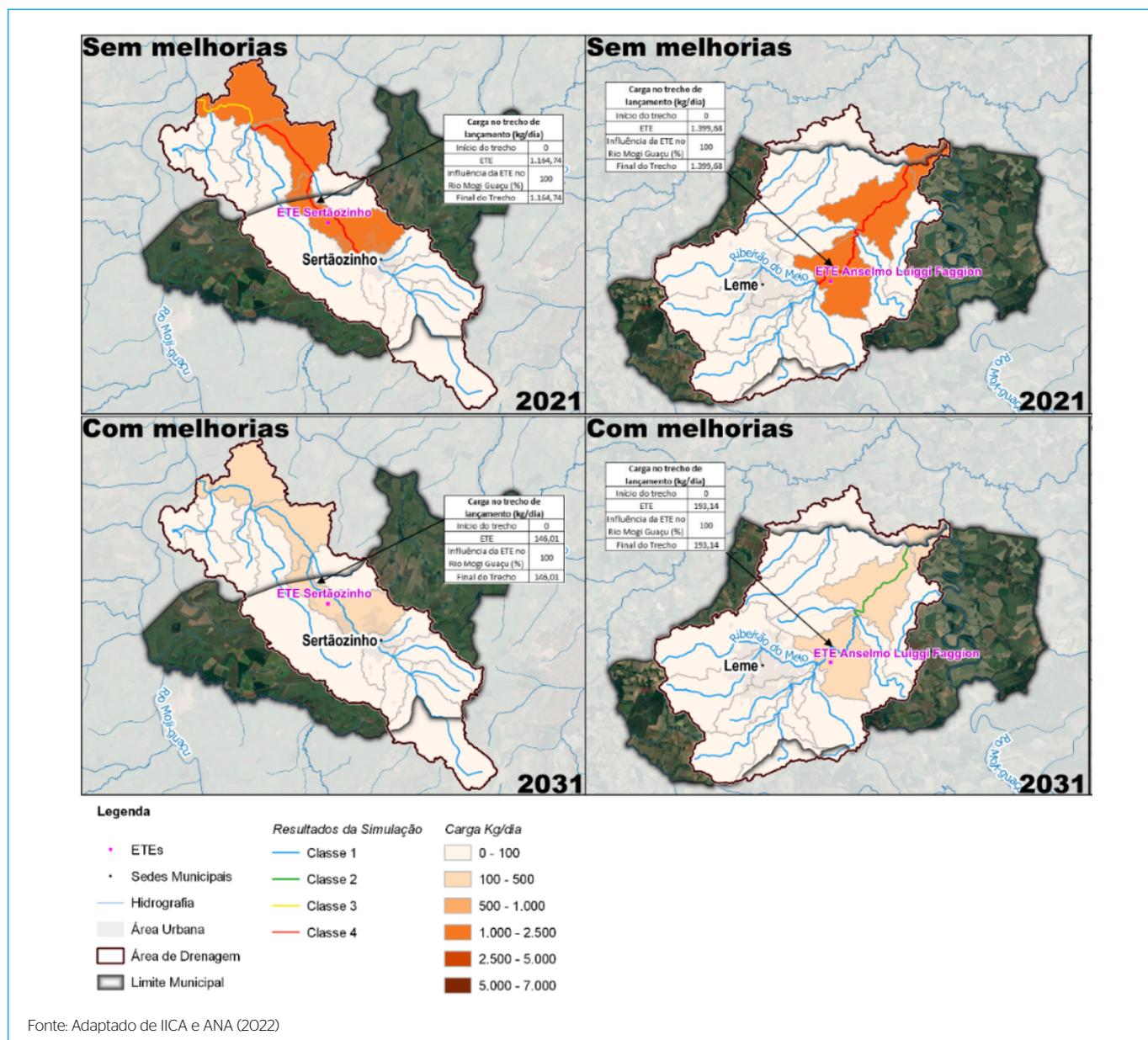


Figura 3 - Resultados da modelagem matemática em Sertãozinho e Leme.

hídrico passaria a apresentar uma classe de enquadramento equivalente igual a 1, indicando a importância da adoção das alternativas propostas na qualidade da água dos corpos receptores das ETEs dos cinco municípios.

A consecução das etapas anteriores permitiu propor as instalações de reúso de água, tendo como ponto de partida as ETEs municipais e como destino final os potenciais

usuários identificados no mapeamento. O resultado desta etapa está apresentado resumidamente na **Tabela 4**, que contém as características das instalações de reúso, incluindo o número de potenciais usuários identificados, a finalidade do reúso, o processo de tratamento do reúso, a categoria de reúso, o comprimento (L) da adutora e o diâmetro nominal (DN) da adutora. A **Figura 4** ilustra a instalação de

Tabela 4 - Resumo das características das instalações de reúso.

Município	Melhoria no tratamento secundário	Reúso				
		Número de Potenciais Usuários	Finalidade	Tratamento para polimento	L _{adutora} (km)	DN _{adutora} (mm)
Ribeirão Preto - ETE Ribeirão	Não	1	Industrial	UF + UV + OR + CL	1,7	150
Ribeirão Preto - ETE Caiçara	Não	3	Industrial	UF + UV + OR + CL	8,4	100
Mogi Mirim	Não	1	Industrial	UF + UV + CL	10,2	100
Sertãozinho	Sim	3	Industrial	UF + UV + CL	4,9	350
Leme	Sim	3	Industrial	UV + CL	10,4	100
Catanduva	Não	2	Irrigação	FA + CL	2,6	350

L_{adutora} = comprimento da adutora; DN_{adutora} = diâmetro nominal da adutora; FA = filtro de areia; CL = cloração; UF = ultrafiltração; OR = osmose reversa; UV = radiação ultravioleta

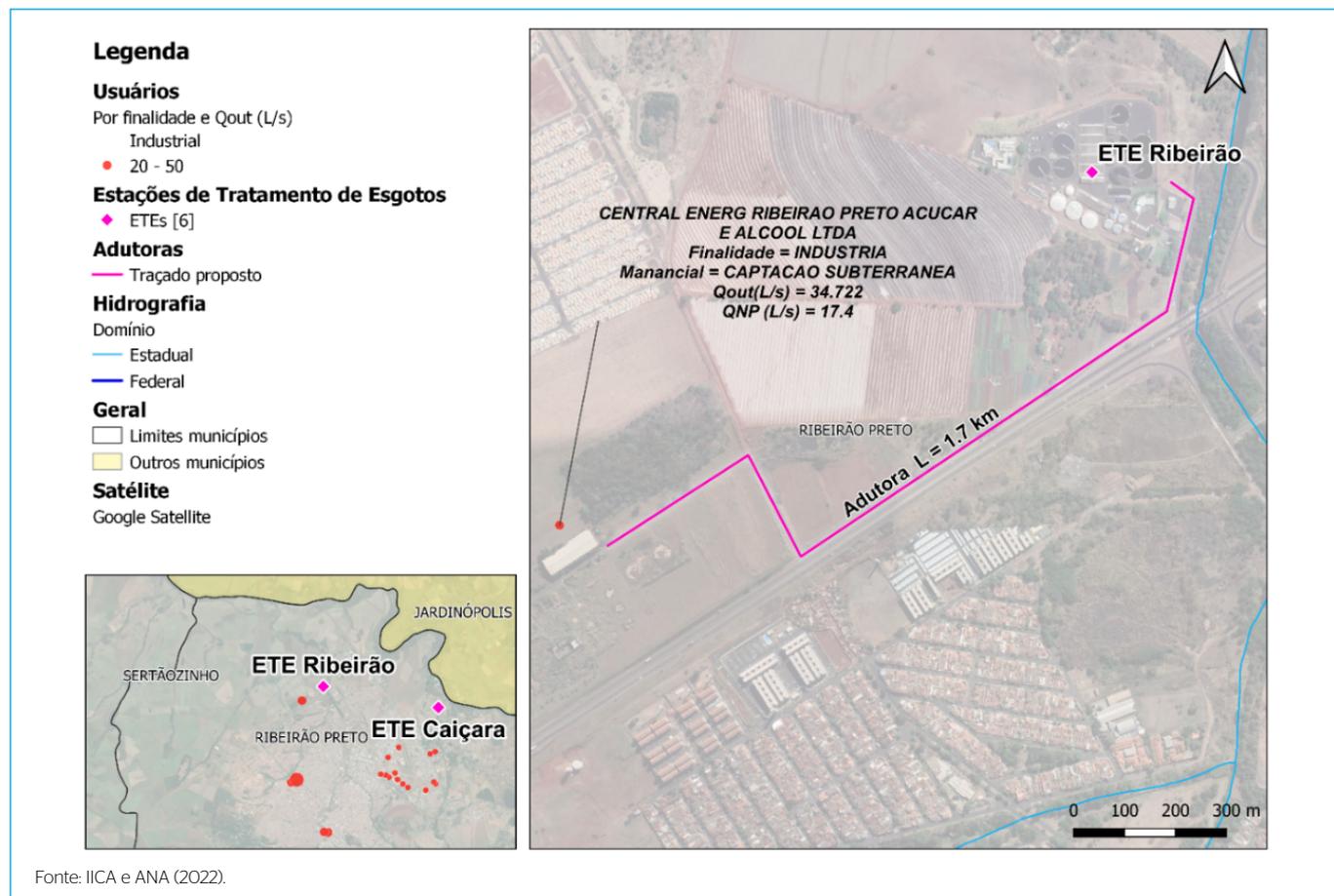


Figura 4 - Traçado da adutora em Ribeirão Preto.

reúso proposta para o município de Ribeirão Preto, considerando o traçado da adutora proposto a partir da ETE Ribeirão até o potencial usuário identificado.

Na **Tabela 5**, são apresentados os custos totalizados por município, considerando os custos de tratamento e de adução. Os custos estimados variaram em cada município devido ao emprego de algumas tecnologias com custos mais elevados, além dos custos para a adução, que dependem da distância entre a ETE e o potencial usuário. Ao avaliar os valores por finalidade de uso, observa-se que, de uma forma geral, os custos associados à obtenção da água de reúso para uso industrial foram relativamente baixos quando comparados às tarifas de água fornecidas pelas concessionárias municipais para esta mesma finalidade (variação de R\$ 13,06/m³ a R\$ 26,31/m³ para as maiores faixas de consumo), mesmo para o caso de Ribeirão Preto, que apresentou a maior tarifa para a água de reúso na ETE Caiçara, com um custo de produção e adução por metro cúbico de R\$ 9,56. Entretanto, o custo de fornecimento de água industrial pela concessionária do município era praticamente o dobro deste valor — R\$ 19,20/m³ (IICA e ANA, 2022) —, não considerando a incidência da tarifa relacionada ao esgoto.

Para o reúso agrícola, os custos estimados foram menores em comparação aos custos para reúso industrial, pois os critérios de qualidade são menos restritivos. Neste caso, a água residual do tratamento contém nutrientes benéficos para o cultivo agrícola, como fósforo e nitrogênio, e, como consequência, reduz-se o emprego de fertilizantes. Essa situação pode ser percebida no município de Catanduva, em que o custo foi inferior a R\$ 1,00/m³.

Diante dos resultados apresentados nas **Tabelas 3 a 5**, realizou-se uma segunda rodada de interlocução com as concessionárias de saneamento de cada um dos cinco municípios, visando captar as suas impressões sobre as alternativas propostas para a destinação dos efluentes tratados e os custos de implantação e manutenção do sistema. As reações dos municípios foram distintas: algumas foram positivas — Catanduva e Mogi Mirim —, outras demonstraram pouco interesse — Leme — ou apontaram divergências em relação a determinadas decisões tomadas no desenvolvimento do estudo — Ribeirão Preto. Também foi mencionado sobre o custo oneroso para implantação e manutenção das alternativas propostas, que excederiam às capacidades atuais de investimento dos municípios. Contudo, foi ressaltada a importância da viabilização da prática de reúso, apontando a necessidade de incentivos fiscais e outros estímulos à prática de reúso por parte do governo federal, bem como campanhas de conscientização aos usuários para reduzir a resistência cultural em relação ao tema.

4. CONCLUSÃO

Diante dos sinais de problemas nas disponibilidades hídricas e na qualidade dos corpos d'água nos cinco municípios estudados, foram avaliadas diversas alternativas e opções para a adequada destinação dos efluentes, visando a melhoria das condições sanitárias e ambientais. O objetivo é diminuir os riscos de comprometimento dos usos da água nas bacias hidrográficas abrangidas. Entre as opções analisadas, destacaram-se a melhoria da qualidade do efluente para lançamento superficial e o reúso da água.

Tabela 5 – Estimativa total de CAPEX e OPEX – tratamento e adução.

Município	Tratamento secundário				Reúso			
	Tipo	Capex (R\$)	Opex (R\$/ano)	Unitário (R\$/m ³)	Finalidade	Custo total (tratamento e adução)		
						Capex (R\$)	Opex (R\$/ano)	Unitário (R\$/m ³)
Ribeirão Preto - ETE Ribeirão	-	-	-	-	Industrial	22.750.874,00	1.250.222,00	6,22
Ribeirão Preto - ETE Caiçara	-	-	-	-	Industrial	17.907.070,00	910.974,00	9,56
Mogi Mirim	-	-	-	-	Industrial	11.530.305,00	618.845,00	6,26
Sertãozinho	LAAP	14.710.786,00	2.680.412,00	0,54	Industrial	32.885.468,00	2.967.373,00	1,64
Leme	MBR	65.127.238,00	15.610.319,00	1,54	Industrial	6.128.231,00	496.552,00	3,86
Catanduva	-	-	-	-	Irrigação	10.567.973,00	1.607.127,00	0,91

Fonte: elaborado pelos autores (2023).

LAAP: lodos ativadas de aeração prolongada; MBR: *membrane bioreactor*.

O reúso da água foi considerado no emprego do modelo matemático, e concluiu-se que sua implantação reduziria as cargas remanescentes de DBO. As reduções variaram de 30% a menos de DBO (como no caso de Catanduva) até 80% (como nos casos de Sertãozinho e Leme, com o complemento do tratamento secundário).

Os custos estimados associados à obtenção da água de reúso para uso industrial foram relativamente baixos quando comparados às tarifas de água fornecidas pelas concessionárias municipais para a mesma finalidade. Mesmo nos casos em que a tarifa estimada de água de reúso foi maior, como em Ribeirão Preto, os custos foram considerados acessíveis. No entanto, os custos estimados para implementação foram considerados elevados pelos municípios, tanto para o tratamento quanto para a adução, ultrapassando a capacidade de investimento de alguns. Além disso, observou-se notável desinteresse por parte dos potenciais usuários, pressupondo-se que a aquisição de água de reúso implica em custos mais elevados em comparação à água potável, somado ao desconhecimento local sobre os recursos hídricos e à resistência cultural ao uso da água de reúso.

Uma opção para contornar o problema relacionado à capacidade de investimento dos municípios é o estabelecimento de parcerias público-privadas. Isso poderia contribuir significativamente para reduzir os problemas associados à deterioração da qualidade dos corpos hídricos e à escassez hídrica.

O conhecimento das restrições e potencialidades para a viabilização do reúso de água nesses cinco municípios paulistas possibilitou apresentar os requisitos técnicos, econômicos e os esforços institucionais necessários para pôr um projeto dessa magnitude em

marcha. Isso reconhece a importância dessas cidades na geração de volumes e vazões para os corpos receptores, trazendo benefícios para as coleções hídricas, o meio ambiente e a sociedade.

Desta maneira, este trabalho assume importância estratégica na orientação das ações e investimentos voltados ao desenvolvimento sustentável em toda a região, contribuindo para o processo de planejamento, gestão e tomada de decisão.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho está baseado em estudo desenvolvido pelo Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA) em parceria com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) no ano de 2022, no âmbito do Projeto de Cooperação Técnica BRA/IICA/18/001 — “Planos de Recursos Hídricos” — ANA/MDR. Importante destacar que traz o ponto de vista dos autores, não expressando necessariamente o entendimento do IICA e da ANA quanto à forma e ao conteúdo das informações e conclusões apresentadas.

Os autores agradecem às prestadoras de saneamento dos municípios de Catanduva (SAEC — Superintendência de Água e Esgoto de Catanduva), Leme (SAECIL — Superintendência de Água e Esgoto da Cidade de Leme), Mogi Mirim (SAEE — Serviço Autônomo de Água e Esgotos de Mogi Mirim e SESAMM — Serviços de Saneamento de Mogi Mirim), Ribeirão Preto (Secretaria Municipal de Água e Esgoto e DAERP — Departamento de Água e Esgotos de Ribeirão Preto) e Sertãozinho (SAEMAS — Serviço Autônomo de Água, Esgoto e Meio Ambiente de Sertãozinho) pela disponibilidade e fornecimento de informações para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas*. Brasília: Cobrape, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021: relatório pleno*. Brasília: ANA, 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA); COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE (CBH-Grande). *Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Grande: relatório final*. São Paulo: Engecorps Engenharia S.A., 2017.

BORATTO, D.C.; BARRETO, A.B.; SEZERINO, P.H. Wetlands construídos empregados no tratamento de esgoto sob o contexto do saneamento de baixo carbono. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 7, p. 390-405, 2021. <https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2021.007.0035>

BRITES, A.P.Z. *Enquadramento dos corpos hídricos através de metas progressivas: probabilidade de ocorrência e custos de despoluição hídrica*. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CARMO, R.L.; ANAZAWA, T.M. Hidromegalópole São Paulo-Rio de Janeiro: escassez hídrica, sobreposição de espacialidades e conflitos. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, n. 17, p. 61-6, 2017. <https://doi.org/10.47749/t/unicamp.2021.1164502>

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 142, n. 53, p.58-63, 18 mar. 2005.

DOS SANTOS, V. *Disposição de efluentes tratados em uma lagoa de evapoinfiltração*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

EMBRAPA HORTALIÇAS. Estação de tratamento de esgoto garante água limpa para irrigação de hortaliças. Brasília: Embrapa, 2021.

ESPESCHIT, G.T.M. *Avaliação da mobilidade dos colifagos f-específicos presentes em efluentes sanitários aplicados em latossolo vermelho*. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

FUKASAWA, B.N. *Proposta de modelos de suporte à decisão no planejamento de reúso de água*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

FUKASAWA, B.N.; MIERZWA, J.C. Modelo de suporte à decisão para implementação de programas de reúso não potável como ferramenta de planejamento. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 3, p. 14064-641, 2020a. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-361>

FUKASAWA, B.N.; MIERZWA, J.C. Identification of water reuse potential in Metropolitan Regions using analytic hierarchy process. *Environmental and Sustainability Indicators*, v. 8, 14 p, 2020b. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100064>

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA (IICA); AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Estudo avaliativo de alternativas para destinação de efluentes sanitários tratados em cinco municípios na bacia hidrográfica do Rio Grande que apresentam corpos hídricos com baixa capacidade de diluição da carga orgânica remanescente do tratamento*. São Paulo: Cobrape, 2022.

LO, C.H.; MCADAM, E.; JUDD, S. The cost of a small membrane bioreactor. *Water Science and Technology*, v. 72, n. 10, p. 1739-46, 2015. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.394>

PLUMLEE, M.H. STANFORD, B.D; DEBROUX, J.F.; HOPKINS, D.C.; SNYDER, S.A. Cost of advanced treatment in water reclamation. *Ozone: Science e Engineering: The Journal of the International Ozone Association*, v. 36, n. 5, p. 485-95, 2014. <https://doi.org/10.1080/01919512.2014.921565>

SALATI, E.; SALATI FILHO, E.; SALATI, E. *Utilização de sistemas wetlands construídas para tratamento de águas*. Piracicaba, Instituto Terramax, 2009.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO BÁSICO (SNIS). *Série histórica*. Brasília: SNIS, 2020. Disponível em: <<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: jul. 2021.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S. EPA). *Technologies and costs document for the final long term 2 enhanced surface water treatment rule and final stage 2 disinfectants and disinfection byproducts rule*. Washington, DC.: U.S. EPA, 2005.