

DIAGNÓSTICO ESPAÇO-TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA EM SISTEMAS DE LAGOAS: CASO DA ETE MANDEMBO

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.16.25.IX-005>

Alessandra Cristina de Campos*, Viviane Modesto Arruda, Jhansley Ferreira da Mata

*Universidade Estadual de Minas Gerais (UEMG). E-mail: alessandracampos103@gmail.com

RESUMO

Este estudo analisa a eficiência da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Mandembo, localizada na zona urbana, com base na comparação dos principais parâmetros de qualidade do efluente entre os anos de 2023 e 2024. Foram avaliados Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total, Fósforo Total, Oxigênio Dissolvido (OD), Substâncias Solúveis em Hexano e pH, considerando os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 e padrões internacionais. Os resultados apontaram significativa redução da eficiência no tratamento em 2024, com destaque para o aumento da DBO na saída de 7 mg/L para 53 mg/L e da DQO de 34 mg/L para 231 mg/L, evidenciando falhas no processo biológico e possível sobrecarga do sistema. A remoção do nitrogênio total apresentou queda expressiva (de 90,8% para 23,8%), indicando deficiências nos processos de nitrificação e desnitrificação, enquanto o fósforo total manteve-se elevado, acima dos limites recomendados, aumentando o risco de eutrofização. O OD apresentou decréscimo e não atingiu o valor mínimo exigido de 5 mg/L. Em contrapartida, a remoção de óleos e graxas manteve-se elevada (>88%) em ambos os anos. Os resultados evidenciam a necessidade de intervenções operacionais urgentes, modernização tecnológica e intensificação do monitoramento para restabelecer a eficiência do sistema. Recomenda-se a adoção de processos complementares, como a precipitação química e o aprimoramento do tratamento biológico, a fim de atender aos padrões ambientais nacionais e internacionais, reduzir impactos ecológicos e assegurar a qualidade do efluente lançado no corpo receptor.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de esgoto, eutrofização, processo de nitrificação, desnitrificação, qualidade do efluente.

INTRODUÇÃO

O avanço industrial e urbano observado nas últimas décadas tem promovido um aumento expressivo no consumo de água e, consequentemente, no uso de produtos químicos e na geração de resíduos. De acordo com Souza e Gomes (2019), os resíduos provenientes das atividades domésticas, industriais e comerciais exercem influência significativa sobre a qualidade dos corpos hídricos.

A contaminação e a poluição desses ambientes decorrem, em grande parte, do lançamento inadequado de efluentes sem tratamento apropriado, comprometendo a integridade dos ecossistemas aquáticos (SANTOS *et al.*, 2016). Tal situação configura um problema ambiental relevante e crescente, resultado do descarte irregular de resíduos sólidos, do lançamento de esgoto sanitário pelas indústrias e da participação da própria sociedade nesse processo de degradação (SHUKLA; VAGHELA; JAIN, 2017; ARAÚJO JÚNIOR, 2020; SANTOS *et al.*, 2018).

A qualidade inadequada da água pode provocar a redução ou perda da biodiversidade aquática, alterações nas características físico-químicas dos ecossistemas e danos à saúde das populações humanas (GARRISON, 2012). No Brasil, a Resolução n.º 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2011) estabelece condições, parâmetros e padrões para o lançamento de efluentes em corpos d'água, definindo limites para variáveis como pH e demanda química de oxigênio - DQO (BRASIL, 2011). Nesse sentido, o tratamento adequado dos efluentes é fundamental para o cumprimento da legislação ambiental vigente e para a prevenção de impactos ambientais adversos (AZEVEDO *et al.*, 2020).

O monitoramento contínuo das características físicas, químicas e biológicas dos corpos hídricos é essencial para avaliar a qualidade ambiental e identificar variações espaciais e temporais (SILVA; ARAÚJO, 2017). A análise dessas variáveis possibilita a detecção de parâmetros que se encontram fora dos limites estabelecidos pela legislação e fornece informações relevantes para a gestão e conservação dos recursos hídricos (KARYDIS; KITSIOU, 2013).

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo analisar e caracterizar os efluentes tratados pelas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) do município de Bebedouro-SP, com ênfase na ETE Mandembo. A pesquisa busca avaliar a eficiência do tratamento ao longo dos anos de 2023 e 2024, considerando parâmetros críticos como demanda bioquímica e química de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, oxigênio dissolvido, pH e substâncias solúveis em

hexano. Além disso, propõe-se a comparar os resultados com os padrões estabelecidos pela legislação brasileira e normas internacionais, apontando os principais desafios e oportunidades de aprimoramento dos processos de tratamento, visando à preservação dos ecossistemas aquáticos e à sustentabilidade dos recursos hídricos.

OBJETIVOS

Analisar e caracterizar a eficiência do tratamento do efluente realizado pela Estação de tratamento de esgoto (ETE) do município de Bebedouro-SP, com ênfase na ETE Mandembo, considerando variações temporais e espaciais, e relacionando os resultados aos parâmetros físico-químicos e biológicos estabelecidos pela legislação ambiental vigente e por normas internacionais.

Avaliar os principais parâmetros indicadores da qualidade do efluente tratado, como demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total, fósforo total, oxigênio dissolvido (OD), pH e substâncias solúveis em hexano.

Comparar os resultados obtidos nos anos de 2023 e 2024, identificando variações na eficiência do processo de tratamento e possíveis fatores relacionados.

Verificar a conformidade dos resultados com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011 e com padrões de qualidade adotados em legislações internacionais.

Identificar falhas operacionais e limitações do sistema de tratamento que possam comprometer a eficiência e a qualidade do efluente final.

Propor recomendações para o aprimoramento dos processos de tratamento, incluindo alternativas tecnológicas e estratégias de monitoramento contínuo, visando minimizar os impactos ambientais e preservar os ecossistemas aquáticos.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado no município de Bebedouro, localizado no estado de São Paulo, com foco na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Mandembo, situada na zona urbana. A região apresenta predominância de atividades residenciais, comerciais e industriais, o que contribui para a geração contínua de efluentes com diferentes cargas orgânicas e nutrientes.

Foram coletados dados referentes aos efluentes tratados nos anos de 2023 e 2024, incluindo parâmetros físico-químicos e biológicos críticos para avaliação da eficiência do tratamento. Os parâmetros analisados foram: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), indicador da carga orgânica biodegradável; Demanda Química de Oxigênio (DQO), representando a carga orgânica total, biodegradável e não biodegradável; Nitrogênio Total, Nitrato e Nitrito, avaliando a eficiência na remoção de nutrientes; Fósforo Total, associado ao potencial de eutrofização; Oxigênio Dissolvido (OD), indicador da qualidade do efluente tratado; Substâncias Solúveis em Hexano (óleos e graxas), relevantes para avaliação da poluição por compostos hidrofóbicos; pH, fundamental para a proteção da vida aquática.

As análises dos parâmetros físico-químicos foram realizadas de acordo com os métodos estabelecidos pela legislação vigente brasileira (CONAMA 430/2011) e normas técnicas de monitoramento ambiental. Cada parâmetro foi mensurado tanto na entrada quanto na saída do sistema de tratamento, permitindo calcular a eficiência do processo. Foram consideradas incertezas na medição e limites estabelecidos por legislações internacionais (Europa e Estados Unidos) para fins comparativos.

A eficiência do tratamento foi calculada comparando-se os valores de entrada e saída para cada parâmetro, conforme a fórmula 1 a seguir:

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{\text{Entrada} - \text{Saída}}{\text{Entrada}} \times 100 \quad \text{fórmula (1)}$$

Esta abordagem permitiu identificar falhas operacionais, variações temporais e tendências na remoção de matéria orgânica e nutrientes.

Os resultados foram analisados de forma comparativa entre os anos de 2023 e 2024, considerando variações absolutas e relativas. A interpretação dos dados levou em conta a legislação brasileira (CONAMA 357/2005; CONAMA 430/2011)

e normas internacionais, possibilitando identificar parâmetros fora dos limites permitidos e propor recomendações de melhorias operacionais e tecnológicas.

Foi considerada a importância do monitoramento contínuo das variáveis indicadoras da qualidade da água, visando correlacionar oscilações nos parâmetros com alterações nas condições operacionais da ETE e fornecer subsídios técnicos para decisões de gestão e mitigação de impactos ambientais.

RESULTADOS

Os dados analisados fornecem informações para medir a eficácia do tratamento de esgoto na Estação de Tratamento de Esgoto Mandembo. Para tanto, leva-se em consideração, as mudanças nos parâmetros entre os anos de 2023 e 2024, as incertezas na medição e os limites impostos pelas principais leis ambientais do Brasil (CONAMA 357/2005), Europa e dos Estados Unidos.

Para análise nesse contexto, considerou-se os parâmetros críticos, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) que indica a carga orgânica biodegradável; Demanda Química de Oxigênio (DQO) que representa a carga orgânica total, biodegradável e não biodegradável; Nitrogênio Total, Nitrato e Nitrito que refletem a eficiência no processo de remoção de nutrientes; Fósforo Total que associa-se ao potencial de eutrofização; Oxigênio Dissolvido (OD) que indica a qualidade do efluente tratado; Substâncias Solúveis em Hexano que são representadas por óleos e graxas importantes para avaliar poluição por compostos hidrofóbicos e por fim, pH que deve estar dentro dos limites adequados para a proteção da vida aquática. As medições estão presentes na Figura 1.

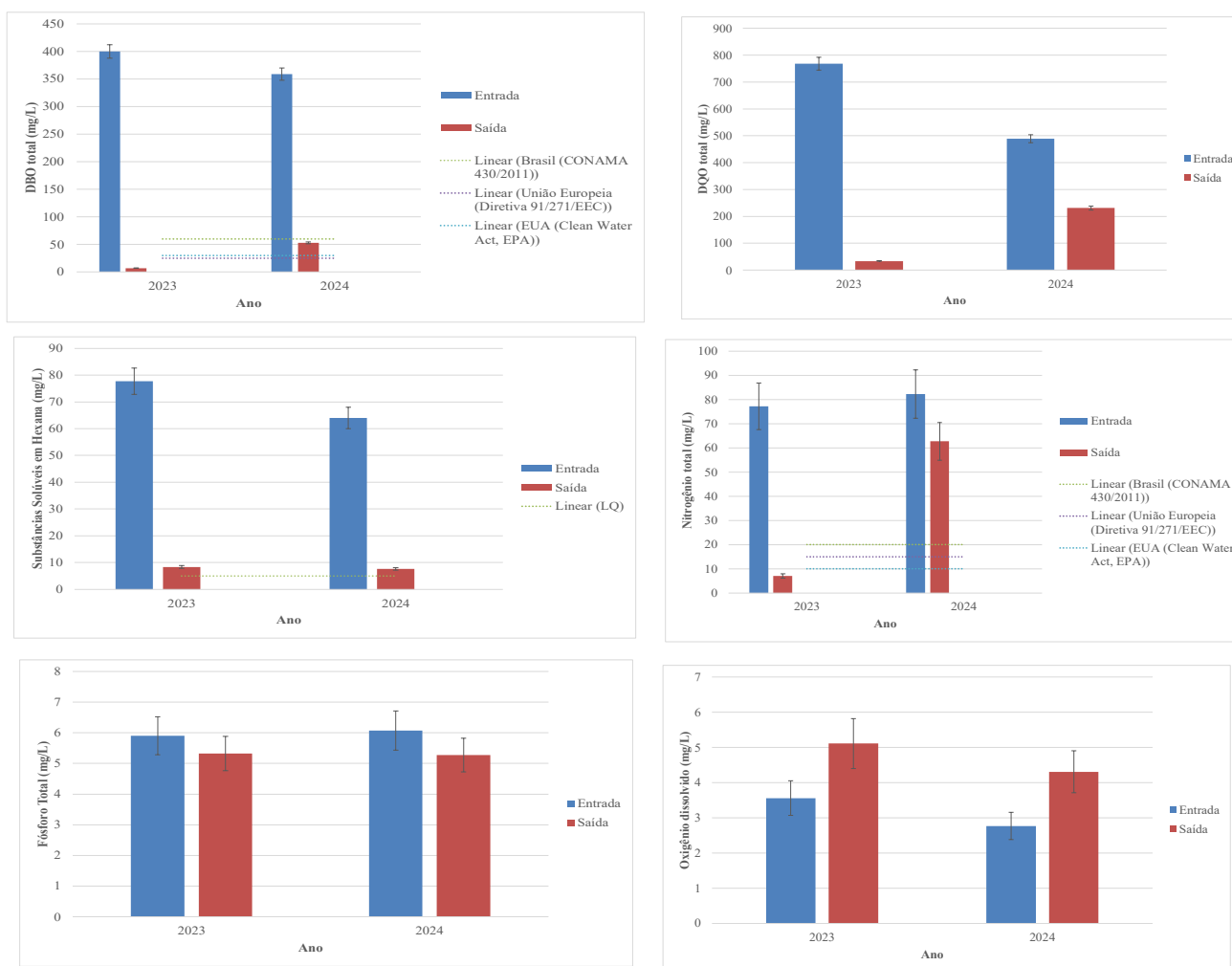


Figura 1. Comparação dos valores de entrada e saída, entre os anos de 2023 e 2024 e limites da legislação brasileira para a DBO, DQO, substâncias solúveis em Hexano, nitrogênio total, Fósforo total e Oxigênio Dissolvido (OD). Fonte: autoria própria.

Quadro 1. Comparação dos valores de entrada e saída, entre os anos de 2023 e 2024 e limites da legislação brasileira para a DBO, DQO, substâncias solúveis em Hexano, nitrogênio total, Fósforo total e Oxigênio Dissolvido (OD). Fonte: autoria própria.

Parâmetro	Entrada	Saída	Condições
DBO	2023: 400 mg/L (U = 12) 2024: 359 mg/L (U = 11) Melhora de 10,25%	2023: 7 mg/L (U = 0,21) 2024: 53 mg/L (U = 1,6) Piora significativa de 657%	Embora tenha ocorrido redução na entrada, a eficiência do sistema de remoção de carga orgânica piorou significativamente, refletindo falhas no tratamento biológico ou excesso de carga.
DQO	2023: 768 mg/L (U = 24) 2024: 489 mg/L (U = 15) Melhora de 36,3%	2023: 34 mg/L (U = 1,1) 2024: 231 mg/L (U = 7,2) Piora de 579%	Embora tenha ocorrido melhora na entrada, de um ano para outro, a saída apresenta piora, indicando que o sistema não conseguiu lidar com a carga orgânica total adequadamente
Substâncias Solúveis em Hexano	2023: 77,7 mg/L (U = 4,9) 2024: 64 mg/L (U = 4) Melhora de 17,65%	2023: 8,3 mg/L (U = 0,52) 2024: 7,6 mg/L (U = 0,48) Melhora de 8,43%	De acordo com a legislação vigente brasileira, o sistema apresentou consistência na remoção de óleos e graxas, mantendo o efluente dentro de limites aceitáveis.
Nitrogênio Total	2023: 77,2 mg/L (U = 9,6) 2024: 82,3 mg/L (U = 10) Aumento de 6,6%	2023: 7,1 mg/L (U = 0,9) 2024: 62,7 mg/L (U = 7,8) Piora de 783%	O aumento do Nitrogênio Total na saída reflete falhas no processo de nitrificação e desnitrificação com impactos negativos no potencial de eutrofização do corpo receptor
Fósforo Total	2023: 5,902 mg/L (U = 0,62) 2024: 6,069 mg/L (U = 0,64) Aumento de 2,8%	2023: 5,326 mg/L (U = 0,56) 2024: 5,271 mg/L (U = 0,55) Melhora de 1,03%	A remoção de fósforo foi praticamente constante, mas os valores da saída permanecem altos e acima de limites recomendados para evitar eutrofização
Oxigênio Dissolvido	2023: 3,56 mg/L (U = 0,49) 2024: 2,77 mg/L (U = 0,39) Redução de 22,2%	2023: 5,11 mg/L (U = 0,71) 2024: 4,31 mg/L (U = 0,6) Redução de 15,7%	Potencial de eutrofização

Em conformidade com Legislação Brasileira (CONAMA 357/2005), OD na saída (mínimo de 5 mg/L), em 2024, o valor (4,31 mg/L) não atendeu ao limite mínimo. Nesta mesma lógica de análise para o Fósforo Total, os valores na saída acima de 0,1 mg/L indicam potencial de eutrofização. Para o parâmetro da DBO Total (até 5 mg/L), os valores na saída (53 mg/L em 2024) estão fora do limite permitido. Verifica-se que esses parâmetros tiveram deficiência no tratamento do sistema.

Relacionando os dados apresentados, as Legislações Europeia e Estadunidense, cujo a verificação tem maiores rigores que a brasileira, o nitrogênio total e fósforo total na saída (limites < 10 mg/L para nitrogênio e < 1 mg/L para fósforo), a ETE Mandembo não atende a esses padrões internacionais.

Contudo, recomenda-se aprimoramento da remoção de carga orgânica ajustando os processos biológicos para melhorar a remoção de DBO e DQO na saída, avaliação do desempenho do sistema aeróbio para garantir maior eficiência. Além disto, sugere-se otimizar a Nitrificação e Desnitrificação, identificando os gargalos no processo de remoção de nitrogênio total, implementar controles mais rígidos na etapa de nitrificação para evitar o acúmulo de nitrogênio amoniacal na saída.

Outro assunto relevante, sobre a redução do Fósforo Total, possibilidade de implementação de sistemas complementares, como precipitação química, para reduzir os níveis de fósforo. Ademais, contribuir com aumento do monitoramento contínuo, aumentando a frequência de análises para correlacionar oscilações nos parâmetros com alterações nas condições operacionais. Adotar medidas emergenciais para garantir que os parâmetros da saída estejam dentro dos limites regulatórios, especialmente DBO, fósforo total e OD.

A partir desses dados, observa-se que as Substâncias Solúveis em Hexano manteve alta eficiência (>88%) em ambos os anos, com leve melhora nos resultados absolutos, o Oxigênio Dissolvido, apesar de apresentar menor eficiência em 2024, o sistema ainda demonstra capacidade de melhorar os níveis de OD no efluente.

Em contrapartida, os parâmetros da DBO Total e DQO Total, apresentaram ineficiência na remoção em 2024, indicando falhas no tratamento biológico, possíveis sobrecargas ou problemas operacionais. Para o Nitrogênio Total, a queda expressiva na eficiência em 2024 (de 90,80% para 23,83%), sugere-se estado de alerta devido ao impacto potencial no corpo receptor. Nessa mesma vertente, o Fósforo Total, a eficiência permanece baixa, exigindo melhorias significativas para atender aos padrões internacionais e reduzir riscos de eutrofização.

CONCLUSÕES

A análise dos efluentes tratados pela Estação de Tratamento Mandembo evidenciou uma piora significativa na eficiência do sistema em 2024, especialmente para os parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Nitrogênio Total. A remoção de fósforo total manteve-se insuficiente, configurando um problema persistente e indicando falhas nos processos de tratamento biológico. Os resultados demonstram que, apesar de a remoção de óleos e graxas ter permanecido eficiente, os parâmetros críticos para a qualidade ambiental do efluente encontram-se fora dos limites estabelecidos pela legislação brasileira e não atendem aos padrões internacionais mais rigorosos.

Esses achados ressaltam a necessidade de intervenções operacionais urgentes, incluindo ajustes nos processos biológicos e otimização das etapas de nitrificação e desnitrificação, além da implementação de tecnologias complementares, como sistemas de precipitação química para a redução de fósforo. Recomenda-se também a intensificação do monitoramento contínuo dos parâmetros físico-químicos e biológicos, de modo a identificar rapidamente oscilações e fatores que possam comprometer a eficiência do tratamento.

A adoção de ações corretivas imediatas e o planejamento de estratégias para manter a conformidade com padrões ambientais nacionais e internacionais são essenciais para minimizar impactos negativos sobre os corpos hídricos receptores, preservar a biodiversidade aquática e garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos. Dessa forma, a melhoria do desempenho da ETE Mandembo constitui uma etapa estratégica para a gestão ambiental eficiente e a proteção do ecossistema urbano de Bebedouro-SP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. 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 o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: nº 053, Brasília, DF, p. 58-63, 18 mar. 2005.
2. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n.º 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.º 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente — CONAMA. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, p. 82-84, 16 maio 2011.
3. Araújo Júnior, J. C. M. Impactos da presença humana no ecossistema do Riacho Doce, litoral norte do estado de Pernambuco. **Educação Ambiental (Brasil)**, v. 1, n. 2, p. 51–63. 2020. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3969190>.
4. Azevedo, P. G. F. de; Oliveira, D. C. da S.; Cavalcanti, L. A. P. Processos físicos e químicos para o tratamento de efluentes: uma revisão integrativa. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 17, p. 1667-1678, 2020. DOI: [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2020\)071740](https://doi.org/10.21438/rbgas(2020)071740).
5. European Parliament. **Directive 2000/60/EC establishing a framework for Community action in the field of water policy**. [S. l.]: Official Journal of the European Communities, L 327, 22 Dec. 2000. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32000L0060>. Acesso em: 12 fev. 2025.
6. Garrison, T. **Essentials of oceanography**. Boston: Brooks/Cole, Cengage Learning, 2012.
7. Santos, A. S.; Almeida, J. N.; Pegoretti, H. M.; Soares, G. B.; Virolí, S. L. M. Avaliação do tratamento de efluentes em uma indústria frigorífica de abate bovino. In: JICE — JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO, 7., 2016, Tocantins. **Anais [...]**. Tocantins: Instituto Federal do Tocantins, 2016.

8. Santos, S. A. dos; Gastaldini, M. do C. C.; Pivetta, G. G.; Schmid Filho, O. Qualidade da água na bacia hidrográfica urbana Cancela Tamandaí, Santa Maria/RS. **Sociedade & Natureza**, v. 30, n. 2, p. 23-44, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v30n2-2018-2>.
9. Shukla, D. P.; Vaghela, K. B.; Jain, N. Assessment of physico-chemical and bacteriological water quality parameters: a review. **International Journal of Pharmacy and Integrated Life Sciences**, v. 5, n. 2, p. 1-17, 2017.
10. Silva, M. A.; Araújo, R. R. Análise temporal da qualidade da água no córrego limoeiro e no rio Pirapozinho no estado de São Paulo – Brasil. **Revista Formação (ONLINE)**, v. 1, n. 24, p. 182-203. 2017.
11. Souza, A. C. A.; Gomes, J. P. Desafios para o investimento público em saneamento no Brasil. **Revista Saúde em Debate**, v. 43, n. 7, p. 36-49, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-11042019s703>. Acesso em: 09. fev. 2025.
12. Karydis, M.; Kitsiou, D. Marine water quality monitoring: a review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 77, n 1–2, p. 23–36, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.09.012>.