

ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE ÍONS METÁLICOS EM MATRIZES PROVENIENTES DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE (ETE) E DO LAGO DE ITAIPU, NO OESTE DO PARANÁ

Data de submissão: 24/05/2024

Data de aceite: 01/07/2024

Liana Fabris

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná Curitiba – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/2441559614641446>

Rubia Camila Ronqui Bottini

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná Curitiba – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/9116853548372190>

Adelmo Lowe Pletsch

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná Curitiba – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/1731491755917260>

RESUMO: Os ecossistemas desempenham um papel vital na manutenção do equilíbrio ambiental, mas as atividades humanas têm aumentado a liberação de poluentes, incluindo metais pesados, comprometendo a qualidade do solo e da água. O monitoramento desses metais em corpos hídricos é essencial para avaliar a contaminação e garantir a saúde ambiental. No Brasil, regulamentações como as resoluções CONAMA 420/2009, 454/2012 e 430/2011 orientam o gerenciamento de áreas contaminadas, materiais de dragagem e lançamento de efluentes, respectivamente. Assim, o objetivo da pesquisa foi determinar

o teor de metais em amostras de sedimento e lodo de esgoto, coletados no município de Santa Helena, no oeste do estado do Paraná. Foram determinados os parâmetros físicos e químicos, conforme Manual da Embrapa e os teores pseudo-totais de metais segundo o método EPA 3051 A. A validação metodológica foi realizada através do Material de Referência Certificado (CRM049-50G). Os teores de íons metálicos nas amostras de lodo ficaram próximos aos encontrados na literatura para a região. Com relação aos sedimentos, os teores de metais pseudo-totais dos íons metálicos Cu, Cr, Fe, Ni, Pb e Zn estavam acima aos valores legislados pelo CONAMA 420/2009, indicando influência antropogênica. E, para as amostras de afluente e efluente, os teores de Cd, Ni e Pb nos efluentes estavam acima dos padrões legislados pela Resolução CONAMA 430/2011, com maior incremento ao Pb, indicando um grau de contaminação.

PALAVRAS-CHAVE: lodo; sedimento; afluente; efluente; metais.

ANALYSIS OF METAL ION CONCENTRATION IN MATRICES FROM SEWAGE TREATMENT PLANT AND ITAIPU LAKE, IN WESTERN PARANÁ

ABSTRACT: Ecosystems are important for maintaining environmental balance, but human activities have increased the release of pollutants, including heavy metals, compromising soil and water quality. Monitoring these metals in water bodies is essential to assess contamination and ensure environmental health. In Brazil, regulations such as CONAMA resolutions 420/2009, 454/2012 and 430/2011 guide the management of contaminated areas, dredging materials and effluent discharge, respectively. Thus, the objective of the research was to determine the metal content in samples of sediment and sewage sludge, collected in the municipality of Santa Helena, in the west of the state of Paraná. The physical and chemical parameters were determined, according to the Embrapa Manual and the pseudo-total metal contents according to the EPA 3051 A method. Methodological validation was carried out using the Certified Reference Material (CRM049-50G). The metal ion contents in the sludge samples were close to those found in the literature for the region. Regarding the sediments, the pseudo-total metal contents of the metallic ions Cu, Cr, Fe, Ni, Pb and Zn were above the values legislated by CONAMA 420/2009, indicating anthropogenic influence. And, for the influent and effluent samples, the levels of Cd, Ni and Pb in the effluents were above the standards legislated by CONAMA Resolution 430/2011, with a greater increase in Pb, which suggests a high degree of contamination.

KEYWORDS: sludge; sediment; affluent; effluent; metals.

INTRODUÇÃO

Os ecossistemas desempenham um papel fundamental na manutenção do equilíbrio ambiental e na provisão de serviços ecossistêmicos essenciais para a sobrevivência das espécies (Prado et al., 2022). No entanto, o aumento das atividades antropogênicas, como industrialização, urbanização descontrolada e práticas agrícolas intensivas, tem levado a uma crescente liberação de poluentes no ambiente, comprometendo a qualidade do solo, das águas superficiais e subterrâneas (Ferreira et al., 2021; Zhang et al., 2020). Entre esses poluentes, a contaminação por metais pesados emerge como uma preocupação significativa, dada a sua toxicidade e capacidade de acumulação na cadeia trófica (Naik et al., 2023).

O monitoramento do teor de íons metálicos nos corpos hídricos é realizado através da análise dos sedimentos, visto que estes desempenham um papel essencial no transporte de nutrientes e poluentes nos ecossistemas aquáticos (Zarfl, 2022). Essa abordagem possibilita avaliar o grau de contaminação enfrentado pelos organismos (Belo, 2010) e, conseqüentemente, entender seu impacto em toda a cadeia alimentar. Uma das maneiras de prevenir desequilíbrios nos corpos hídricos e diminuir problemas como odores desagradáveis e toxicidade (Reis, 2022), bem como diminuir a disponibilidade de metais pesados para o meio ambiente, ocorre por meio de um tratamento de efluente eficiente.

No Brasil, são estabelecidas regulamentações como a Resolução CONAMA 420/2009 e a Resolução CONAMA 454/2012, que direcionam o gerenciamento de áreas contaminadas e de materiais resultantes de dragagem, respectivamente (Brasil, 2009; Brasil, 2012). Paralelamente, nos Estados Unidos, entidades como a Agência de Proteção Ambiental (USEPA) e a Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA) avaliam os sedimentos, empregando critérios de qualidade da água, níveis de toxicidade e bioacumulação (USEPA, 1991). Adicionalmente, no contexto brasileiro, a Resolução CONAMA nº 430/2011 regula as condições e padrões para o lançamento de efluentes em geral, especificamente abordando os efluentes provenientes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, ressaltando a importância de monitorar a qualidade desses lançamentos no ambiente (Brasil, 2011).

Considerando este contexto, este estudo teve como objetivo estudar a concentração de metais pseudo-totais em amostras de sedimento coletadas no Lago de Itaipu e em amostras de lodo de esgoto, afluente e efluente coletadas em uma estação de tratamento de efluentes domésticos, no oeste do estado do Paraná.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado em uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) no município de Santa Helena (Figura 1), no oeste do Paraná, que segundo o IBGE (2022), possui 25.492 habitantes e área territorial de 754,701 km².

No município o tratamento do esgoto doméstico era realizado por um sistema de lagoas aeróbicas e anaeróbicas, no entanto, a partir do ano de 2020 a ETE foi modernizada recebendo um sistema de tratamento de lodos ativados com Reatores Sequenciais em Batelada (SBR), no qual cada tanque possui capacidade máxima de 2282,9 m³ (AEN, 2023). Para o tratamento do lodo, uma das antigas lagoas foi transformada em *wetlands*, no qual algumas plantas aquáticas, como por exemplo o papiro brasileiro, auxiliam no processo de mineralização do lodo, promovendo a depuração da matéria orgânica e de outros poluentes, o que faz com que o material aproxime as suas propriedades às do solo.

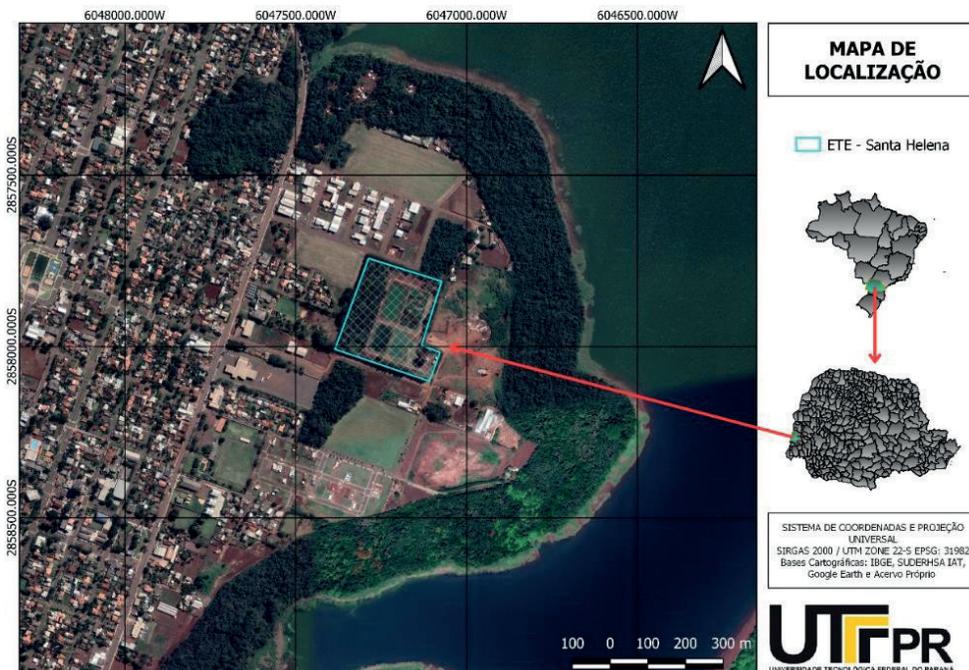


Figura 1 – ETE localizada em Santa Helena (PR)

Fonte: Google Earth - Modificado pelos autores (2023)

Amostragem

As amostragens do lodo, afluente, efluente e do sedimento foram realizadas em dezembro de 2022. O lodo foi coletado em três pontos de uma estação de tratamento de efluentes (ETE) (Figura 2), as amostras de afluente e o efluente foram coletadas, respectivamente, na entrada e na saída do reator e as coletas de sedimento foram realizadas em dois pontos no lago de Itaipu, ambos localizados no município de Santa Helena, na região oeste do estado do Paraná. As amostras foram armazenadas em embalagens plásticas e posteriormente, em caixas térmicas e transportadas ao laboratório para as análises.



Figura 2 – Pontos de amostragem do lodo na ETE em Santa Helena (PR)

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Em laboratório, as amostras de lodo e sedimento foram depositadas em placas de Petri e secadas em estufa na temperatura de 60 °C. Na sequência, as amostras foram destorroadas com um almofariz e passadas na peneira de 2 mm. E, as amostras de afluente e efluente foram concentradas, com o auxílio de um rotaevaporador, tendo o volume reduzido de 500 mL para 100 mL, e na sequência foi adicionado 5 mL de ácido nítrico.

A Tabela 1 apresenta uma descrição detalhada do local de amostragem e as coordenadas geográficas.

Matriz	Potos	Local de amostragem	Coordenadas geográficas
Lodo	1	Calha Parshall	-24.855382, -54.322810
	2	Wetland	-24.855382, -54.322810
	3	Saída do reator	-24.855382, -54.322810
Sedimento	4	1000 m a jusante do lançamento da ETE	-24.847486, -54.323529
	5	5500 m a jusante do lançamento da ETE	-24.811666, 54.321001
Afluente e efluente	6	Entrada do reator	-24.855382, -54.322810
	7	Saída do reator	-24.855382, -54.322810

Tabela 1 - Descrição dos pontos de amostragem do lodo, sedimento, afluente e efluente

Fonte: Autoria própria (2024)

Determinações físico-químicas e de metais pseudo-totais

As determinações físico-químicas - Matéria Orgânica (MO), ortofosfato e pH - das amostras de lodo e sedimento foram realizadas em duplicata e seguiram as metodologias apresentadas no Manual de Solos da Embrapa (EMBRAPA, 2017) e, Carbono Orgânico Total (COT) seguiu a metodologia de Kiehl (1985). E, as determinações de metais pseudo-totais seguiu o método da EPA 3051A (USEPA, 2007). A validação metodológica foi realizada a partir da análise do Material de Referência Certificado (CRM049-50G).

As determinações físico-químicas - alcalinidade, demanda química de oxigênio (DQO), nitrato, nitrito, sólidos suspensos, sólidos sedimentáveis e pH – foram determinados no próprio sistema de tratamento da ETE. E, as determinações de metais pseudo-totais foram realizadas seguindo o método EPA 3051 A, e a leituras realizadas em espectrofotômetro de absorção atômica (FAAS).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinações físico-químicas e de metais pseudo-totais

Lodo de esgoto e sedimento

A Tabela 2 apresenta os resultados de pH, ortofosfato, matéria orgânica, carbono orgânico total e teores pseudo-totais dos metais estudados nas matrizes de lodo e sedimento. Também são apresentados os valores de recuperação do Material de Referência Certificado (MRC), o qual apresentou alta variabilidade.

Os valores de pH nos pontos estudados indicam um caráter neutro, sendo o menor valor para o P1 (lodo referente à entrada da ETE). Os valores obtidos são semelhantes aos resultados obtidos por Lopes (2015). Um aumento de pH, segundo Fernandes e Souza (2001), indica que o lodo está em processo de mineralização, o que justifica uma maior acidez para o lodo bruto.

As concentrações de ortofosfato nas amostras de lodo e sedimento variaram entre 4,27 e 0,95 g. Ao comparar às concentrações obtidas nos pontos 1 e 3 da estação de tratamento de esgoto, nota-se que a taxa de remoção de fósforo foi de 63%.

O teor de MO variou de 70,08% a 6,94%. Enquanto o teor de COT variou de 38,94% a 3,86%. O valor de COT para o leito de secagem está próximo aos valores obtidos por Lopes (2015), que variou entre 27% a 31% e o valor obtido por Nogueira (2013), de 32,5%.

Metal	P1	P2	P3	P4	P5	MRC
pH	6,36	7,26	N.D.	7,57	7,01	-
Ortofosfato	4,27	1,65	1,60	1,82	0,95	-
MO	61,75	70,08	N.D.	7,48	6,94	-
COT	34,31	38,94	N.D.	4,15	3,86	-
Cd	0,24 ± 0,05	1,21 ± 0,07	0,79 ± 0,05	0,38 ± 0,01	0,80 ± 0,009	95,0 ± 1,17
Cr	51,34 ± 13,52	58,39 ± 1,38	69,24 ± 8,51	66,53 ± 1,88	55,55 ± 0,66	66,0 ± 1,10
Cu	72,37 ± 2,18	200,72 ± 2,56	356,83 ± 6,23	480,24 ± 10,83	188,16 ± 2,17	63,0 ± 0,45
Fe	14.748,46 ± 461,85	29.936,42 ± 1357,1	75.393,44 ± 1410,5	119.964,13 ± 8922,3	158.122,56 ± 33007,1	121,0 ± 151,28
Mn	14,43 ± 10,72	70,33 ± 19,05	68,17 ± 26,25	64,30 ± 2,31	52,70 ± 50,91	16,0 ± 2,35
Ni	213,29 ± 11,55	249,80 ± 0,61	250,82 ± 9,17	161,61 ± 0,68	159,68 ± 0,48	14,0 ± 1,30
Pb	17,41 ± 1,34	45,30 ± 0,49	28,05 ± 0,01	22,03 ± 0,37	21,40 ± 0,32	78,0 ± 0,75
Zn	344,49 ± 18,14	617,54 ± 51,04	428,25 ± 21,31	258,63 ± 6,85	336,59 ± 21,26	219,0 ± 14,26

N.D. – Não Determinado.

Tabela 2 - Resultados de pH, ortofosfato (g kg^{-1}), MO e COT (%), metais (mg kg^{-1}) em lodo e sedimento dos pontos estudados e recuperação do MRC em (%).

Fonte: Autoria própria (2024)

No lodo os teores pseudo-totais dos metais, cádmio (0,24 a 1,21 mg kg^{-1}), cromo (51,34 a 69,24 mg kg^{-1}), cobre (72,37 a 356,83 mg kg^{-1}), ferro (14.748,46 mg kg^{-1} a 75.393,44 mg kg^{-1}), manganês (14,43 a 70,33 mg kg^{-1}), níquel (213,29 a 250,82 mg kg^{-1}), chumbo (17,41 a 45,30 mg kg^{-1}) e zinco (344,49 a 617,54 mg kg^{-1}), apresentaram menor concentração no P1, entrada da ETE, especificamente coletado na calha Parshall.

As concentrações pseudo-totais dos metais encontradas no lodo da ETE estão abaixo dos valores reportados por Lopes (2015), na mesma região de estudo, exceto para o Ni. Quando comparados aos valores legislados pelo CONAMA 420/2009, que “dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas”, os teores encontram-se acima dos valores de prevenção, com maior incremento para Cu e Ni, os quais são passíveis de monitoramento visto que sugerem um elevado grau de contaminação, ao tratar que o lodo tem potencial uso agrícola.

Já para o sedimento coletado no lago de Itaipu as concentrações pseudo-totais dos metais mostraram pequenas variações, indicando características semelhantes entre

os pontos estudados. A variabilidade dos elementos ficou em: cádmio (0,38 a 0,80 mg kg⁻¹); cromo (55,55 a 66,53 mg kg⁻¹); cobre (188,16 a 480,24 mg kg⁻¹); ferro (119.964,13 a 158.122,56 mg kg⁻¹); manganês (52,70 a 64,30 mg kg⁻¹); níquel (159,68 a 161,61 mg kg⁻¹); chumbo (21,40 a 22,03 mg kg⁻¹); e zinco (258,63 a 336,59 mg kg⁻¹).

Os teores dos metais das amostras de sedimento, quando comparados aos valores de referências de qualidade para solos apresentados na literatura por Bocardi (2009), que serve como base para indicar contribuição antropogênica, apresentam um incremento para elementos Cr, Cu, Fe, Ni, Pb e Zn. Já os elementos Cd e Mn estão em teores inferiores aos de referência de qualidade dos solos da região. Quando comparados aos valores legislados para o Nível 2 pelo CONAMA 454/2012, que “estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional”, para sedimento de água doce, o Cd, Cr e o Pb estão de acordo com a legislação. Logo, os elementos Cu, Ni e Zn estão ligeiramente acima.

Já as concentrações do elemento Fe no sedimento ficaram abaixo do legislado pela EPA, que estabelece um teor de 220.000,00 mg kg⁻¹, para os limites de efeitos aparentes, onde impactos biológicos são sempre esperados (USEPA, 1991).

Afluente e efluente

A Tabela 3 apresenta os resultados de pH, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, alcalinidade e teores pseudo-totais dos metais estudados nas amostras de afluente e efluente da ETE.

Quando comparado aos valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2011, a qual “dispõe das condições e padrões para o lançamento de efluentes”, os parâmetros físico-químicos (pH, DQO, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos e alcalinidade) estão em conformidade com a legislação para o lançamento.

Metal	P6	P7
pH	7,28	6,80
DQO (mg L ⁻¹)	823,00	26,5
Sólidos sedimentáveis (mL L ⁻¹)	6,00	< 1,00
Sólidos suspensos (mg L ⁻¹)	312,50	6,00
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	338,71	83,35
Cd	0,24	0,22
Cr	< LD	< LD
Cu	< LD	< LD
Fe	1,23	0,84
Mn	1,03	0,69
Ni	2,57	2,41
Pb	28,82	26,41
Zn	4,83	4,35

LD - Limite de Detecção

Tabela 3 - Resultados de pH, DBO (mg L⁻¹), sólidos sedimentáveis (mL L⁻¹), sólidos suspensos (mL L⁻¹), alcalinidade (mL L⁻¹) e metais (mg L⁻¹) em afluente e efluente de ETE

Fonte: Autoria própria (2024)

Já as concentrações pseudo-totais dos metais nas amostras, sendo Cd (0,24 a 0,22), Fe (1,23 a 0,84), Mn (1,03 a 0,69), Ni (2,57 a 2,41), Pb (28,82 a 26,41) e Zn (4,83 a 4,35) apresentaram redução no teor do efluente com relação ao afluente, dos quais apenas os elementos Cd, Ni e Pb estão acima dos parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2011, podendo ser sujeitos a monitoramento.

CONCLUSÕES

Com base nas metodologias aplicadas, ambas se mostram com boa precisão. Quanto a validação metodológica realizada através da análise do MRC, visando avaliar a eficiência da recuperação dos metais estudados, obteve-se uma alta taxa de variação na concentração recuperada, oscilando de 14% para Ni a 219% do Zn.

Os parâmetros físico-químicos apresentaram valores próximos aos reportados na literatura para a região de estudo, para ambas as matrizes, lodo e sedimento. Para o ortofosfato o sistema de tratamento de lodo mostrou um rendimento na remoção de 63%, ficando próximo ao esperado para reatores em batelada, que é de 80%.

As concentrações de metais pseudo-totais na matriz do lodo ficaram próximas aos resultados reportados em outros estudos da região, exceto para o elemento Ni.

Para a matriz sedimento os teores de íons metálicos de Cu, Cr, Fe Ni, Pb e Zn, para os dois pontos de amostragem, ficaram acima dos valores de referência de estudos da região. Para o Nível 2 pelo CONAMA 454/2012, o Cd, Cr e o Pb estão de acordo com a legislação e os elementos Cu, Ni e Zn estão ligeiramente acima.

Com relação aos parâmetros físico-químicos para as amostras de efluente que serão lançados no corpo receptor (Lago de Itaipu), todos estão de acordo com a Resolução CONAMA 430/2011.

As concentrações de metais pseudo-totais para as amostras de efluente apresentaram reduções quando comparadas as amostras de afluente para todos os elementos que foi possível detectar. Sendo acima do padrão estabelecido pela CONAMA 430/2011, os teores de Cd, Ni e Pb.

REFERÊNCIAS

AEN (Agência Estadual De Notícias Do Paraná). **Sanepar implanta solução baseada na natureza para tratar lodo de esgoto de Santa Helena.**

Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Sanepar-implanta-solucao-baseada-na-natureza-para-tratar-lodo-de-egoto-de-Santa-Helena>. Acesso em: 7/05/2024.

BELO, A.; QUINÁIA, S. P.; PLETSCH, A. L. Avaliação da contaminação de metais em sedimentos superficiais das praias do lago de Itaipu. **Química nova**, v. 33, n. 3, p. 613–617, 2010.

BOCARDI, J. M. B. **Valores de referência de qualidade de metais, macroelementos e radionuclídeos em solos do oeste do Paraná.** Tese (Doutorado em Química) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2019

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 420, de 28 de dezembro de 2009.** Define critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília, DF, 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, DF, 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 454, de 1 de novembro de 2012.** Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Brasília, DF, 2012.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 3. ed. 2017

FERNANDES, Fernando et al. Estabilização de lodo de esgoto. **Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final**, v. 1, p. 32-57, 2001.

FERREIRA, N. K. F.; LIMA, C. F.; AZEVEDO, E. B. M.; MARINHO, A. F.;

ARAÚJO, F. O.; AZEVEDO, F. F. M. Disponibilidade de metais pesados e sua correlação com a matéria orgânica do solo em áreas produtoras de hortaliças na Região Metropolitana de Belém/PA. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 11, p. 109022–109032, 2021.

IBGE (Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística). **Censo Brasileiro de 2022 – Santa Helena (PR)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/santa-helena/panorama>. Acesso em 07/05/2024.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. São Paulo: Ceres, 1985.

LOPES, T. R. **Caracterização do esgoto sanitário e lodo proveniente de reator anaeróbio e de lagoas de estabilização para avaliação da eficiência na remoção de contaminantes**. Dissertação de Mestrado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015. 123 p.

NAIK, S.; PRADHAN, U.; KARTHIKEYAN, P.; BANDYOPADHYAY, D.; SAHOO, R. K.; PANDA, U. S.; MISHRA, P.; MURTHY, M. V. R. Ecological risk assessment of heavy metals in the coastal sediment in the South-western Bay of Bengal. **Frontiers in marine science**, v. 10, 2023.

NOGUEIRA, Thiago Assis Rodrigues et al. Short-term usage of sewage sludge as organic fertilizer to sugarcane in a tropical soil bears little threat of heavy metal contamination. **Journal of Environmental Management**, v.114, p.168- 177, 2013.

PRADO, R. B.; FIDALGO, E. C. C.; PARRON, L. M.; TURETTA, A. P. D.;

BALIEIRO, F.C. Oportunidades e desafios relacionados aos serviços ecossistêmicos de solo e água na paisagem rural. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 39, n. 2, p. 26955, 2022.

REIS, J. M. dos; AGUIAR, A. B. S.; FREITAS, G.; VASSOLER, V. C.; BARROS, G. V. L.; SANTOS, G. E.; RAMIREZ, I.; RODRIGUEZ, R. P. Metals removal techniques from wastewater: a literature review. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e5251126100, 2022.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). **Evaluation of Dredged Material Proposed for Ocean Disposal**. Testing Manual, 1991.

USEPA (United States Environmental Protection Agency). **Method 3051A**. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils, 2007.

ZARFL, C.; DUNN, F. E. The delicate balance of river sediments. **Science (New York, N.Y.)**, v. 376, n. 6600, p. 1385–1386, 2022.

ZHANG, L.; MCKINLEY, J.; COOPER, M.; PENG, M.; WANG, Q.; SONG, Y.;

CHENG, H. A regional soil and river sediment geochemical study in Baoshan area, Yunnan province, southwest China. **Journal of geochemical exploration**, v. 217, n. 106557, p. 106557, 2020.