

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DO ATERRO SANITÁRIO DE LAGES-SC

Bruno Delladone **Bittar**¹, Valter Antonio **Becegato**², Vitor Rodolfo **Becegato**³, Lara Carolina **Becegato**⁴

(1 - Tecnologia em Sistemas de Saneamento - TEQUA, bdbittar@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-4863-0195>, 2 - Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, valter.becegato@udesc.br, <https://orcid.org/0000-0002-6850-2846>), 3 - _Consultor Ambiental, vitorvrb92@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4177-5833>, 4 - Doutoranda - Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI, larabecegato@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9414-1618>)

Resumo: Objetivou-se com este trabalho analisar as características ambientais relativas a geologia, solo, uso da terra solo, e das águas subterrâneas no aterro sanitário de Lages-SC. Para conhecimento do local de estudo e atingir os objetivos propostos, efetuou-se pesquisa a bibliográfica, para além da consulta a trabalhos elaborados por técnicos da área ambiental em diferentes etapas de tempo, desde o licenciamento ambiental do empreendimento, passando pela contaminação do local após ocorrência de crime ambiental, até os dias atuais. Buscou-se avaliar a possível existência de um dano ambiental na área destinada a destinação final ambientalmente adequada de resíduos sólidos urbanos. Foi analisado também os dados das análises das águas subterrâneas em três anos consecutivos, e, para a análise geoespacial, realizou-se o levantamento topográfico através de sobrevoo com drone. Os resultados revelaram uma extensa área inutilizada do terreno, representando um custo de oportunidade ao município, que deixa de utilizar o espaço inicialmente manejado para a destinação final de seus resíduos, e dos municípios que o utilizam.

Palavras-chave: Aterro sanitário, Contaminação, Águas subterrâneas.

ENVIRONMENTAL CHARACTERIZATION OF LAGES-SC SANITARY LANDFILL

Abstract: This study aimed to analyze the environmental characteristics related to geology, soil, and the use of land and groundwater at the Lages-SC sanitary landfill. To comprehend the study site and achieve the proposed objectives, a bibliographic review was conducted alongside a review of reports prepared by environmental professionals at different stages, from the environmental licensing of the facility, through contamination events following environmental crime, up to the present. The study sought to assess the potential for environmental damage in the area designated for the environmentally appropriate final disposal of urban solid waste. Groundwater analysis data over three consecutive years were examined, and a geospatial analysis was conducted through topographic surveys using drone overflights. The results revealed a large unused portion of the land, representing an opportunity cost to the municipality, as it fails to utilize space initially designated for waste disposal for its own and neighboring municipalities.

Keywords: Sanitary landfill, Contamination, Groundwaters.

CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL RELLENO SANITARIO DE LAGES-SC

Resumen: Este estudio tuvo como objetivo analizar las características ambientales relacionadas con la geología, el suelo, el uso del suelo y de las aguas subterráneas en el relleno sanitario de Lages-SC. Para conocer el lugar de estudio y alcanzar los objetivos propuestos, se realizó una revisión bibliográfica, además de consultar informes elaborados por técnicos en medio ambiente en diferentes etapas, desde la licencia ambiental del proyecto, pasando por la contaminación del lugar tras un delito ambiental, hasta la actualidad. Se buscó evaluar la posible existencia de daño ambiental en el área destinado a la disposición final adecuada de residuos sólidos urbanos. También se analizaron los datos de las aguas subterráneas durante tres años consecutivos, y para el análisis geoespacial se realizó un levantamiento topográfico mediante sobrevuelo con un dron. Los resultados revelaron una gran área inutilizada en el terreno, lo que representa un costo de oportunidad para el municipio, que deja de utilizar el espacio inicialmente gestionado para la disposición final de sus residuos y de los municipios que lo utilizan.

Palabras clave: Relleno sanitario, Contaminación, Aguas subterráneas.

1. Introdução

Os aterros sanitários são atividades previamente planejadas para o tratamento final dos

resíduos sólidos. Esses locais precisam sustentar as necessidades de produção de resíduos proveniente das atividades humanas. Identificar um local ideal, ou simplesmente adequado para operação de tal empreendimento caracteriza-se como tarefa complexa, demorada e onerosa, exigindo a avaliação de diversos fatores, com características variadas para tomada das decisões (Renou et al. 2008; Mat et al., 2017; Ali et al. 2021; Gutberlet, 2021; Muisa Zikali, et al. 2022).

A crescente e ininterrupta produção de resíduos sólidos do meio urbano é tema discutido há décadas em âmbito mundial. O aumento da preocupação com a temática ambiental aliado às complexas demandas sociais e econômicas proporciona posicionamento crítico dos três níveis de governo, sociedade civil e iniciativa privada quanto à melhor solução das questões de disposição e tratamento final dos resíduos sólidos (Ugwu et al. 2021; Ghaedrahmati, 2023).

A correta gestão dos resíduos sólidos é condição precípua para uma cidade sustentável. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), aprovada em agosto de 2010, traz instrumentos para que os municípios brasileiros trabalhem pertinentes à questão, minimizando os impactos ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos rejeitos. A PNRS tem como base o princípio da responsabilidade compartilhada, enquadrando indústrias, comércio, prefeituras e consumidores como responsáveis pelos resíduos sólidos, com a obrigação dos atores da gestão dos resíduos a disponibilizá-los em local adequado (Adriano, 2001; Kabata-Pendias, 2011; Moraes, 2014; MMA, 2018).

Nos casos de inadequada gestão dos aterros sanitários, locais de disposição ambientalmente adequados final dos resíduos; além de riscos aos trabalhadores do local, danos à economia do município, um dos maiores riscos ambientais existentes é o extravasamento do chorume para áreas impróprias (Kjeldsen et al. 2002; Di Iaconi et al. 2011; Cruvinel, et al. 2019; Aryampa et al. 2021; Morita et al. 2021).

O chorume, líquido escuro produzido a partir da lixiviação dos resíduos, pode conter altas concentrações de sólidos suspensos, metais pesados, compostos orgânicos, além de contaminar o solo e águas subterrâneas, podendo atingir poços artesianos pela movimentação dos níveis freáticos, agravando problemas de saúde pública (Baird, 2002; Kumar et al., 2010; Odonkor & Mahami, 2020; Qasim et al. 2020).

Em função da natureza, características e periculosidade destes empreendimentos, o licenciamento ambiental e cumprimento de suas condicionantes são primordiais para a

salubridade do ambiente. Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), também são balizadores dos procedimentos operacionais destas obras de saneamento.

O presente trabalho objetivou verificar a caracterização da área e alguns dos componentes do aterro sanitário de Lages, identificando a possível persistência de dano ambiental.

2. Materiais e métodos

Na Figura 1 encontra-se a localização da área deste estudo, nas coordenadas UTM 582042m E/6930512 m S.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2021).

Geologia

Para a caracterização geológica do local foram consultados o Laudo Hidrogeológico elaborado em abril de 2014 para a empresa gestora do aterro sanitário, em parceria a Universidade Federal do Paraná (UFPR), além da busca direta em fontes da literatura. Utilizou-se dados geofísicos do laudo de 2014 após o estudo de levantamento da eletrorresistividade

local, executado entre os dias 18 e 21/03/2014 pelo Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada da UFPR. Tal projeto envolveu cinco linhas de imageamento elétrico 2D, totalizando 2400 m de perfis adquiridos com arranjo dipolo-dipolo e seis níveis de profundidade de investigação. O estudo buscou identificar a presença de anomalias no método investigativo que poderiam conter indícios de contaminação. Com os dados obtidos no levantamento foram cruzadas informações obtidas nas análises laboratoriais e correlacionadas entre elas.

Solos

Foram realizadas sondagens geológicas ao lado dos poços de monitoramento freático, as amostras coletadas foram identificadas e armazenadas e identificadas. Os solos predominantes são: Os Cambissolos; Litossolos e Gleissolos.

Para o levantamento da permeabilidade foi retirada uma amostra do solo de área em ampliação do aterro sanitário, cujo solo escavado é utilizado para a cobertura dos resíduos. A amostragem de solo foi realizada com umidade próxima da capacidade de campo, ou seja, entre 2 e 4 dias após uma chuva expressiva (> 30mm). As amostras foram coletadas a uma profundidade entre 180 e 200 cm, conforme escavação das trincheiras destinada à construção das células, utilizando trados manuais, de acordo com a ABNT NBR 15.492 de 2007, que aborda métodos e questões relacionadas com a perfuração para finalidades ambientais. As amostras foram acondicionadas em embalagens devidamente rotuladas e identificadas, e encaminhadas para laboratório encaminhado à laboratório externo certificado, para a determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável de amostra indeformada, conforme dispõe a NBR 14.545 de 2000 em seu Método B.

Uso do terreno do aterro

Objetivando entender como está sendo ocupada a área do aterro, foi executado um aerolevanteamento com topografia, utilizando softwares de georreferenciamento e cálculo em desenho em 3D, para avaliar a potencial perda de vida útil do aterro sanitário, acarretando em um passivo econômico para o município.

Para análise espacial do dano foi realizado um aerolevanteamento no local com mapeamento utilizando o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) Phantom 4 Pro DJI. Sua câmera acoplada com sensor de 20 megapixels, garantiu boa resolução espacial, inferior a 5 cm/pixel. O mapeamento e o planejamento de voo foram realizados pelo software Ground

Station PRO, da própria DJI (*Support for P4P - DJI, s.d.*). Os parâmetros de entrada são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de entrada para planejamento de voo sobre o aterro

Tempo de voo (min)	Altitude (m)	Velocidade (m/s)	Sobreposição (%)		Número de fotos	Resolução espacial (cm/pixel)
			Lateral	Vertical		
26	55,7	5,4	5	80	247	1,6

Os dados foram coletados em janeiro/2019, as coordenadas dos vértices georreferenciados foram locadas utilizando receptores GPS/GNSS RTK (Figura 2) a partir de um vértice de referência com coordenada conhecida. Os dados referentes às coordenadas planialtimétricas foram processadas pelo serviço de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) do IBGE.

Figura 2 - Identificação dos pontos de controle para realização do voo.



Além do voo, foi realizado em paralelo o levantamento dos pontos de controle para o correto georreferenciamento das imagens. Utilizou-se receptores GNSS (Global Navigation Satellite System) de dupla frequência. As correções de altimetria foram feitas pelo software MAPGEO2015 disponível gratuitamente pelo IBGE.

Após a geração da ortofoto, foram obtidas as curvas de níveis, com o uso do software ArcGis 5.1. obtendo-se o volume médio de resíduos depositados sobre o passivo ambiental e

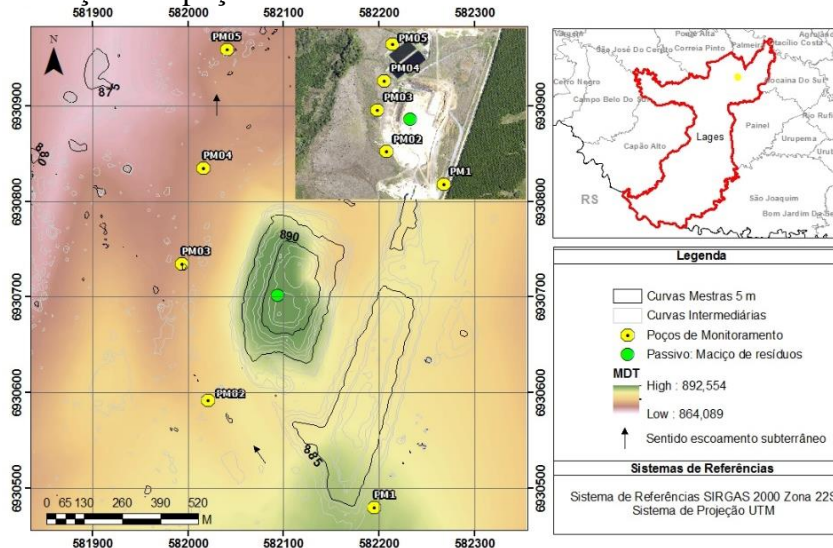
sobre as células em operação, de modo a permitir a determinação do espaço no aterro que está inutilizado em decorrência da existência do dano ambiental e da indefinição jurídica sobre a resolução.

Águas subterrâneas

As amostras de águas oriundas de 10 poços (Figura 3) realizadas em três anos consecutivos: 2016; 2017 e 2018, conforme preconiza a Licença Ambiental de Operação do aterro sanitário.

A locação dos poços está disposta no sentido Norte-Sul, em função da declividade, sentido da gravidade, conta com 1 (um) poço a montante do fluxo potencial e outros 4 (quatro) a jusante, no sentido de interceptar o fluxo potencial, tal como dispõe a NBR 13.896/97. O maciço de resíduos que representa o passivo ambiental está sobre o fluxo das águas monitoradas nos poços, conforme ilustrado no mapa potenciométrico (Figura 3).

Figura 3 – Localização dos poços de monitoramento do Aterro Sanitário de Lages (SC).



As coletas (Figura 4) foram realizadas no mesmo período do ano, estação de inverno nos meses de julho, nos dias 21/07/2016; 31/07/2017 e 05/07/2018. A metodologia de coleta, preservação das amostras e análise das águas seguiu as determinações estabelecidas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1999) e da Norma Técnica NBR 9.898 (ABNT, 1987).

Figura 4 - Coleta de água subterrânea segundo o Standard Methods.



Foram retiradas amostras pelo método do amostrador descartável Bailer, armazenadas em frascos de poliuretano de 500 ml, devidamente identificadas e vedadas. Os recipientes foram armazenados e transportados em caixa térmica contendo gelo, visando preservar as características físicas e químicas do material.

Foram analisados 15 parâmetros: (Arsênio; Benzeno; Cádmio Total; Chumbo Total; Cobre; Cromo; Cromo Hexavalente e Trivalente; Etilbenzeno; Ferro Dissolvido; Mercúrio Total; Prata; Tolueno; Xileno e Fenol) constantes da Resolução Conama nº 420/2009-Anexo II - Investigação de águas subterrâneas.

3. Resultados e discussão

Geologia

A área do empreendimento é composta por rochas das Formações Teresina, rio do Rastro e Palermo. A Formação Palermo foi identificada e descrita pela sequência de siltitos cinza amarelos, com intensa bioturbação e raras lentes de arenitos finos a conglomeráticos, das quais são comuns aflorantes na região sudeste de Santa Catarina. Na região da bacia carbonífera, onde foi definida, esta apresentou-se com as suas feições mais típicas (Sumida, 2017).

A Formação Rio do Rastro, do Permiano Superior (Paleozoico), constituído por depósitos de planícies costeiras de siltitos, argilitos e arenitos finos, esverdeados, arroxeados e avermelhados com representação local de bancos calcíferos, às vezes olíticos. A Formação Serra Alta é constituída por lamitos e folhelhos cinzentos, que podem ser maciços e

microlaminados. A Formação Teresina está sobreposta a Formação Serra Alta. É constituída por siltitos acinzentados com intercalações de calcários micrítico e estromatolítico. A laminação pode ser paralela, ondulada, “flaser” e do tipo gretas de contração. (Roldan et al., 2007).

Segundo Scheibe (1986), essa diversificação de formações geológicas deve-se ao fato da ocorrência de ações de processos endógenos, os quais deram origem ao Domo de Lages. Caso estas ações não tivessem acontecido, esta área ainda seria recoberta pela Formação Serra Geral em sua totalidade.

Solos

Ocorre a predominância dos solos das classes: Cambissolos, Litossolos e Gleissolos. A drenagem varia de acentuada a imperfeita e podem apresentar qualquer tipo de horizonte A sobre um horizonte B incipiente (Bi), também de cores diversas. Muitas vezes são pedregosos, cascalhentos e mesmo rochosos (Roldan et al., 2007).

Os solos foram caracterizados como predominantemente argilosos com coloração marrom, variando para cinza nos perfis mais profundos, apresentando plasticidade entre moderada e alta, nos horizontes mais superficiais e mais profundos respectivamente. Observou-se também a presença de argilito em alguns perfis de sondagem. De acordo com as descrições dos perfis das sondagens, os 3 tipos de solos predominantes são caracterizados como sendo majoritariamente argilosos com coloração marrom variando para cinza com porções amarelada nos perfis mais profundos. A característica desse tipo de solo é de alta retenção de água, proporcionando menor percolação por já está saturado, aumentando, assim, o escoamento superficial (Geoambiente, 2014).

O solo “tipo 1-Gleissolo” caracterizado como orgânico de coloração preta, contendo partes de restos vegetais em decomposição; O solo “tipo 2-Cambissolo” coloração marrom argiloso, com compactação e plasticidade moderadas; O solo “tipo 3-Litossolo” argiloso com fragmentos de argilito de cor marrom variando à coloração escura para preto; O solo “tipo 4-Cambissolo” argiloso de cor cinza, com porções amareladas e de alta plasticidade. O laudo de permeabilidade (Juris Ambiente, 2003), confirma o encontrado no Estudo de Impacto Ambiental do empreendimento.

Considerando que o valor encontrado para os três solos de $k=10^{-6}$ equivale a velocidade de 0,000864 m/dia para os solos da área objeto, confirmando o potencial construtivo, portanto

com uma baixíssima velocidade no meio poroso, pouco permeável, passível de tomada de medidas preventivas para o saneamento de uma possível contaminação.

Águas subterrâneas

Os dados da pesquisa foram comparados com aqueles estabelecidos pela Resolução Conama n° 420/2009.

Com relação aos parâmetros analisados referentes aos anos (2016, 2017 e 2018), foram retirados extratos de dados de alguns Poços de Monitoramento em diferentes anos. Para efeitos de discussão dos resultados dos 05 Poços, observa-se nas Tabelas 2 a 7, que alguns parâmetros sofreram oscilações comparativamente entre os poços e anos, mas não ultrapassaram os Valores de Referência da referida Resolução.

Tabela 2. Parâmetros analisados do Poço de Monitoramento 04-PM 04 ano 2016.

Água Subterrânea: PM 04 _ Data: 28/07/2016			
Parâmetro	Legislação 420/09 - Investigação	Resultado	Método
Arsênio	Máx. 10,0 µg/L	< 0.008 µg/L	Standard Methods - 3120 - B
Benzeno	Máx. 5,0 µg/L	< 0.0005 µg/L	EPA 8260 C:2006
Cádmio Total	Máx. 5,0 mg.L-1	< 0.001 mg.L-1	Standard Methods - 3120 B e 3125 B
Chumbo Total	Máx. 10,0 mg.L-1	< 0.01 mg.L-1	Standard Methods - 3120 B e 3125 B
Cobre	Máx. 2000 mg.L-1	0,00593 mg.L-1	Standard Methods - 3120 B
Cromo	Máx. 50,0 mg.L-1	< 5 mg.L-1	Standard Methods - 3120 B e 3125 B
Cromo Hexavalente	Máx. 50,0 mg.L-1	< 0.02 mg.L-1	Standard Methods - 3500 D
Etilbenzeno	Máx. 300,0 µg/L	< 0.0005 µg/L	EPA 8260 C:2006
Ferro Dissolvido	Máx. 2450 mg.L-1	0,1 mg.L-1	Standard Methods - 3120 B
Mercurio Total	Máx. 1,0 mg.L-1	0,00027 mg.L-1	Standard Methods - 3120 B
Prata	Máx. 50,0 mg.L-1	< 5 mg.L-1	Standard Methods - 3120 B e 3125 B
Tolueno	Máx. 700,0 µg/L	< 0.0005 µg/L	EPA 8260 C:2006
Xileno	Máx. 500,0 µg/L	< 0.0015 µg/L	EPA 8260 C:2006
Fenol	Máx. 140,0 µg/L	< 0.1 µg/L	EPA 8270 C/D
Cromo Trivalente	Máx. 50,0 mg.L-1	< 0.02 mg.L-1	Standard Methods - 3500 D

Tabela 3. Parâmetros analisados do Poço de Monitoramento 05-PM 05 ano 2016.

Água Subterrânea: PM 05 _ Data: 28/07/2016			
Parâmetro	Legislação 420/09 - Investigação	Resultado	Método
Arsênio	Máx. 10,0 µg/L	< 0.008 µg/L	Standard Methods - 3120 - B
Benzeno	Máx. 5,0 µg/L	< 0.0005 µg/L	EPA 8260 C:2006
Cádmio Total	Máx. 5,0 mg.L-1	< 0.001 mg.L-1	Standard Methods - 3120 B e 3125 B
Chumbo Total	Máx. 10,0 mg.L-1	< 0.01 mg.L-1	Standard Methods - 3120 B e 3125 B
Cobre	Máx. 2000 mg.L-1	< 0.005 mg.L-1	Standard Methods - 3120 B
Cromo	Máx. 50,0 mg.L-1	< 5 mg.L-1	Standard Methods - 3120 B e 3125 B
Cromo Hexavalente	Máx. 50,0 mg.L-1	< 0.02 mg.L-1	Standard Methods - 3500 D
Etilbenzeno	Máx. 300,0 µg/L	< 0.0005 µg/L	EPA 8260 C:2006
Ferro Dissolvido	Máx. 2450 mg.L-1	0,362 mg.L-1	Standard Methods - 3120 B
Mercurio Total	Máx. 1,0 mg.L-1	0,00027 mg.L-1	Standard Methods - 3120 B
Prata	Máx. 50,0 mg.L-1	< 5 mg.L-1	Standard Methods - 3120 B e 3125 B
Tolueno	Máx. 700,0 µg/L	< 0.0005 µg/L	EPA 8260 C:2006
Xileno	Máx. 500,0 µg/L	< 0.0015 µg/L	EPA 8260 C:2006
Fenol	Máx. 140,0 µg/L	< 0.1 µg/L	EPA 8270 C/D
Cromo Trivalente	Máx. 50,0 mg.L-1	< 0.02 mg.L-1	Standard Methods - 3500 D

Tabela 4. Parâmetros analisados do Poço de Monitoramento 01-PM 01 ano 2017.

Água Subterrânea: PM 01 _ Data: 11/07/2017				
Parâmetro	Legislação	Resultado	Unidade	Método
Arsênio	<10	< 8	µg/L	SMEWW - 22º nd. 2012, Method 3114 C
Benzeno	<5	< 1,5	µg/L	EPA - Method 8015 C
Cádmio Total	<5	< 0,7	mg.L-1	SMEWW - 22º nd. 2012, Method 3120 B
Chumbo Total	<10	24	mg.L-1	SMEWW - 22º nd. 2012, Method 3120 B
Cobre	<2000	< 0,338	mg.L-1	SMEWW - 22º nd. 2012, Method 3030 D, E, F, G, H e I; Method 3111 B
Cromo Hexavalente	<50	< 50	mg.L-1	SMEWW - 22º nd. 2012, Method 3500 Cr B
Cromo Trivalente	<50	< 50	mg.L-1	SMEWW - 22º nd. 2012, Method 3500 Cr B/3111 B
Etilbenzeno	<300	< 1,5	µg/L	EPA – Method 8015 C
Fenóis Totais	140	< 2,0	µg C6H5OH/L	SMEWW - 22º nd. 2012, Method 5530 C
Ferro Dissolvido	<2450	7239	mg.L-1	SMEWW - 22º nd. 2012, Method 3030 D, E, F, G, H e I. Method 3111 B
Mercurio Total	<1	< 1	mg.L-1	SMEWW - 22º nd. 2012, Method 3114 C/3120 B
Prata	<50	< 15	mg.L-1	SMEWW - 22º nd. 2012, Method 3030 D, E, F, G, H e I; Method 3111 B
Tolueno	<700	< 1,5	µg/L	EPA - Method 8015 C
Xileno	<500	< 1,5	µg/L	EPA – Method 8015 C

Tabela 5. Parâmetros analisados do Poço de Monitoramento 01-PM 01 ano 2018.

Água Subterrânea: PM 01 _ Data: 05/07/2018				
Parâmetro	Legislação	Resultado	Unidade	Método
Arsênio	<10	< 0,010	µg/L	SMWW - 22º Edição, Method 3112 B
Benzeno	<5	< 2,00	µg/L	EPA - 8260 B
Cádmio	<5	< 0,002	mg.L-1	SMWW - 22º Edição, Method 3120 B
Chumbo	<10	< 0,010	mg.L-1	SMWW - 22º Edição, Method 3120 B
Cobre	<2000	< 0,010	mg.L-1	SMWW - 22º Edição, Method 3120 B
Cromo Hexavalente	<50	< 0,010	mg.L-1	SMWW - 22º Edição, Method 3120 B
Cromo Trivalente	<50	< 0,010	mg.L-1	SMWW - 22º Edição, Method 3120 B
Etilbenzeno	<300	< 2,00	µg/L	EPA - 8260 B
Fenol	140	< 0,002	µg C6H5OH/L	SMWW - 22º Edição, Method 3120 B
Ferro Dissolvido	<2450	< 0,050	mg.L-1	SMWW - 22º Edição, Method 3120 B
Mercurio	<1	< 0,0002	mg.L-1	SMWW - 22º Edição, Method 3112 B
Prata	<50	< 0,010	mg.L-1	SMWW - 22º Edição, Method 3120 B
Tolueno	<700	< 2,00	µg/L	EPA - 8260 B
m.p Xileno	<500	< 4,00	µg/L	EPA - 8260 B
o- Xileno	<500	< 2,00	µg/L	EPA - 8260 B

Tabela 6. Parâmetros analisados do Poço de Monitoramento 04-PM 04 ano 2018.

Água Subterrânea: PM 04 _ Data: 05/07/2018				
Parâmetro	Legislação	Resultado	Unidade	Método
Arsênio	<10	< 0,010	µg/L	SMWW - 22º Edição, Method 3112 B
Benzeno	<5	< 2,00	µg/L	EPA - 8260 B
Cádmio	<5	< 0,001	mg.L-1	SMWW - 22º Edição, Method 3120 B
Chumbo	<10	< 0,010	mg.L-1	SMWW - 22º Edição, Method 3120 B
Cobre	<2000	< 0,010	mg.L-1	SMWW - 22º Edição, Method 3120 B
Cromo Hexavalente	<50	< 0,010	mg.L-1	SMWW - 22º Edição, Method 3120 B
Cromo Trivalente	<50	< 0,010	mg.L-1	SMWW - 22º Edição, Method 3120 B
Etilbenzeno	<300	< 2,00	µg/L	EPA - 8260 B
Fenol	140	< 0,016	µg/L	SMWW - 22º Edição, Method 5530 B
Ferro Dissolvido	<2450	< 0,051	mg.L-1	SMWW - 22º Edição, Method 3120 B
Mercurio	<1	< 0,0002	mg.L-1	SMWW - 22º Edição, Method 3112 B
Prata	<50	< 0,010	mg.L-1	SMWW - 22º Edição, Method 3120 B
Tolueno	<700	< 2,00	µg/L	EPA - 8260 B
m.p Xileno	<500	< 4,00	µg/L	EPA - 8260 B
o- Xileno	<500	< 2,00	µg/L	EPA - 8260 B

Tabela 7. Parâmetros analisados do Poço de Monitoramento 05-PM 05 ano 2018.

Água Subterrânea: PM 05 Data: 05/07/2018				
Parâmetro	Legislação	Resultado	Unidade	Método
Arsênio	<10	< 0,010	µg/L	SMWW - 22ª Edição, Method 3112 B
Benzeno	<5	< 2,00	µg/L	EPA - 8260 B
Cádmio	<5	< 0,001	mg.L-1	SMWW - 22ª Edição, Method 3120 B
Chumbo	<10	< 0,076	mg.L-1	SMWW - 22ª Edição, Method 3120 B
Cobre	<2000	< 0,010	mg.L-1	SMWW - 22ª Edição, Method 3120 B
Cromo Hexavalente	<50	< 0,010	mg.L-1	SMWW - 22ª Edição, Method 3120 B
Cromo Trivalente	<50	< 0,013	mg.L-1	SMWW - 22ª Edição, Method 3120 B
Etilbenzeno	<300	< 2,00	µg/L	EPA - 8260 B
Fenol	140	< 0,016	µg/L	SMWW - 22ª Edição, Method 5530 B
Ferro Dissolvido	<2450	< 0,069	mg.L-1	SMWW - 22ª Edição, Method 3120 B
Mercúrio	<1	< 0,0002	mg.L-1	SMWW - 22ª Edição, Method 3112 B
Prata	<50	< 0,010	mg.L-1	SMWW - 22ª Edição, Method 3120 B
Tolueno	<700	< 2,00	µg/L	EPA - 8260 B
m.p Xileno	<500	< 4,00	µg/L	EPA - 8260 B
o- Xileno	<500	< 2,00	µg/L	EPA - 8260 B

No que tange ao Poço de monitoramento-PM 01ano 2018 (Tabela 5), o Cádmio apresentou ligeiro aumento, cuja concentração foi de 0,002 mg.L⁻¹, comparativamente aos dados do mesmo poço e aos outros poços em diferentes anos (Tabelas 2 a 7); porém abaixo dos 5 mg. L⁻¹ do valor de referência da Resolução Conama 420/2009.

Azevedo et al. (2003), encontraram valores entre 0,003 e 0,006 mg.L⁻¹ de Cadmio em águas subterrâneas de um antigo lixão em Minas Gerais. Nakamura et al. (2014) analisando a qualidade das águas subterrâneas oriundas de poços de um aterro sanitário em Minas Gerais, observaram que a disposição dos resíduos sólidos está impactando na qualidade das águas para vários parâmetros como Ferro, alumínio, DQO e DBO. Becegato (2017) pesquisando sobre contaminação por chorume em aterro controlado no município de Lages-SC, obteve valores médios de 87 e 1776 ppb para o Cadmio e Cromo respectivamente. Marques (2011), obteve teores na ordem de 30 ppb de cromo e 21000 ppb de cádmio em amostras de solos na profundidade de 0-20 cm oriundas de um lixão no município de Elói Mendes-MG.

O Chumbo (Tabela 4) do Poço PM-01 no ano de 2017, apresentou concentração 24 mg.L⁻¹, bem acima dos 10 mg.L⁻¹ estabelecidos na referida Resolução. No PM-05 ano 2018, também registrou leve alteração com valor de 0,076 mg.L⁻¹, porém abaixo do que preconiza a Resolução em tela. Para as demais análises manteve-se inferior ao limite mínimo de leitura dos aparelhos. Piai et al., 2006, pesquisando os níveis de metais em águas subterrâneas a montante de um aterro sanitário, obtiveram concentração para o Chumbo de 0,18 mg.L⁻¹ e <0,0001 mg.L⁻¹ para o Cádmio.

Referente ao Cobre e Cromo (Tabelas 2 e 7) apresentaram pequenas alterações com valores de 0,00593 mg. L⁻¹ e 0,013 mg. L⁻¹ respectivamente nos Poços PM-04 e 05 a jusante nos anos de 2016 e 2018. Para estes metais, os valores não extrapolaram aqueles da Legislação, que são respectivamente 2000 e 50 mg. L⁻¹. Madeira et al. (2022) obtiveram valores de 0,001 a 0,017 mg. L⁻¹ para o Cobre e teores de Cromo com até 18.000 vezes acima do permitido pelo ordenamento jurídico. Oliveira & Jucá (2004), detectaram concentração média de 5200 ppb de cromo oriundo de amostras de solos localizadas abaixo de uma célula de resíduos sólidos.

O trabalho de Celere et al. (2007), detectou níveis de metais no chorume do aterro de Ribeirão Preto-SP, na ordem de 42 ppb de cádmio e 407 ppb de cromo respectivamente. Nessa mesma linha, Riguetti et al. (2015), obtiveram teores de 10 ppb de cádmio e 20 ppb de cromo em amostras de chorume do aterro de Dourados-MS. Muitos são os trabalhos que buscam identificar a contaminação por metais em aterros sanitários; e segundo Nagashima et al. (2009), diversos trabalhos mostram que as concentrações de cádmio e cromo em percolados analisados de diferentes regiões do país variam de 13 a 240 ppb de cádmio e de 73 a 368 ppb de cromo.

O Ferro apresentou valor acima do que estabelece a Resolução Conama 420/2009 no PM01 no ano de 2017, com variações de resultados em todos os poços para todos os anos analisados. No trabalho de Nakamura et al. (2014) os teores de Ferro encontrado foram de 14 mg. L⁻¹ enquanto que para Carim et al. (2022) a concentração média obtida foi de 0,08 mg. L⁻¹.

O Mercúrio apresentou pequena variação, dentro do Valor Máximo Permitido pela Resolução; assim como a Prata manteve-se sempre abaixo do limite mínimo de quantificação dos aparelhos, para todos os anos e poços analisados.

Os compostos fenólicos apresentaram variação nos poços de monitoramento à jusante das células de resíduos do aterro sanitário no ano de 2018, ainda que sem exceder os limites legais, para os pontos e anos anteriores, os parâmetros mantiveram-se abaixo do limite mínimo de quantificação dos aparelhos.

A escolha de um local para a alocação de um aterro sanitário em área considerada adequada é um trabalho de grande seriedade e dificuldade, devido aos grandes impactos ambientais, políticos e econômicos gerados na execução de um projeto desta natureza (Amaral, 2017).

A área inutilizada pela indecisão jurídica da responsabilidade em reparação do dano que envolve o caso, representa um custo de oportunidade ao município, ou seja, uma área inutilizada

que poderia ser destinada ao tratamento final ambientalmente adequado de resíduos, tal qual a proposta inicial quando da desapropriação do terreno, representada nas Figuras 5 e 6.

Figura 5 - Área de base inutilizada - Custo de Oportunidade ao Município.

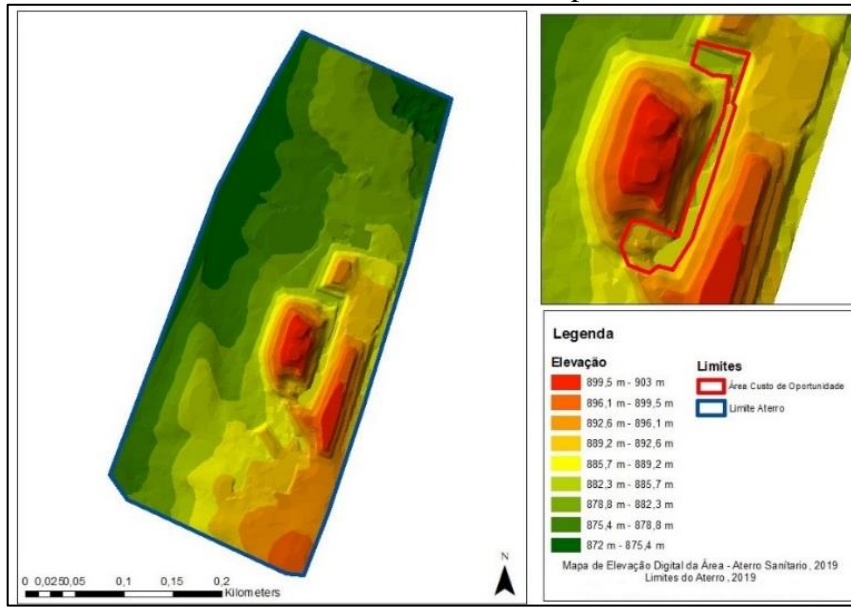
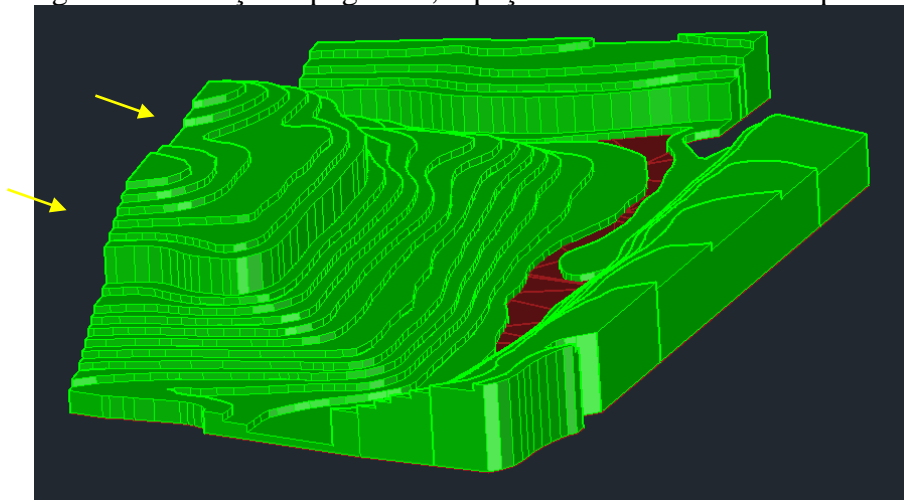


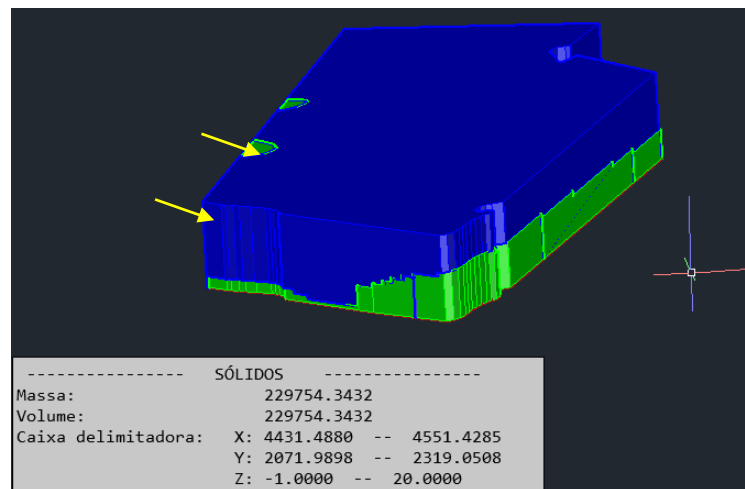
Figura 6 - Elevação topográfica, espaço inutilizado devido ao passivo.



O cálculo do volume, representado pela área de um custo de oportunidade, em que o município deixa de utilizá-lo para o erguimento de resíduos aterrados, foi levantado, resultando um total de 229.754,34 m³, como aponta a Figura 7. Considerando a compactação do resíduo aterrado como de 0,81 ton/m³ este espaço seria apto a comportar aproximadamente 186.101,01 toneladas de resíduos.

Além disso o erguimento de novos patamares sobre esta área, estaria de acordo com o Estudo de Impacto Ambiental do empreendimento, elevando então da cota 903 m, máxima existente atualmente, até a 915 m, comportando ainda mais volume de resíduos aterrados, sem comprometer a estabilidade dos maciços, prolongando a vida útil do aterro sanitário municipal.

Figura 7 - Preenchimento do volume em caso de ausência do passivo.



Considerações finais

- Um novo estudo geofísico deverá ser realizado objetivando quantificar o volume de solo contaminado que deverá ser recuperado, seguido da recuperação topográfica e estrutural do local.
- As concentrações dos 19 elementos químicos analisados, estão abaixo do que estabelece a Resolução Conama n. 420/2009; embora com concentrações diferentes dos elementos analisados entre os poços e anos.
- Identificados indícios reais e potenciais de contaminação de solo e água subterrâneas, a Norma Técnica Brasileira NBR 15.515/2007, partes 1 e 2, estabelece os requisitos necessários para uma investigação preliminar e confirmatória de passivos, conduzindo posteriormente à um método de recuperação no caso de confirmação.
- Devido a irregularidades na configuração das obras, e o potencial impacto que este poderá causar ao meio ambiente, sugere-se uma confirmação com métodos expostos anteriormente, procedendo em uma recuperação integral do passivo, visando o uso

futuro da área e volume inutilizados.

Referências bibliográficas

- Adriano, D. C. (2001). *Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals* (2. ed). Springer.
- Ali, I. H., Siddeeg, S. M., Idris, A. M., Brima, E. I., Ibrahim, K. A., Ebraheem, S. A. M., & Arshad, M. (2021). Contamination and human health risk assessment of heavy metals in soil of a municipal solid waste dumpsite in Khamees-Mushait, Saudi Arabia. *Toxin Reviews*, 40(1), 102–115. <https://doi.org/10.1080/15569543.2018.1564144>
- Amaral, D. G. P. (2017). Uso de geoprocessamento para indicação de áreas favoráveis à construção de aterro sanitário no município de Ouro Preto (MG) / Geographical information systems for indication of favorable areas to the sanitary landfill construction in Ouro Preto (MG). *Caderno de Geografia*, 27(51), 642. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2017v27n51p642>
- American Public Health Association. (1999). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (20th ed.). Washington, DC: American Public Health Association; AWWA; WPCF.
- Aryampa, S., Maheshwari, B., Zamorano, M., Sabiiti, E. N., Olobo, C., & Bateganya, N. L. (2021). Adaptation of EVIAVE methodology to landfill environmental impact assessment in Uganda – A case study of Kiteezi landfill. *Journal of African Earth Sciences*, 183, 104310. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2021.104310>
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (1987). *Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores*. (ABNT NBR 9.898:1987).
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (1997). *Aterro de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação* (ABNT NBR 13.896:1997).
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2000). *Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável* (ABNT NBR

14.545:2000).

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2007). *Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento* (ABNT NBR 15.492:2007).

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2007). *Passivo Ambiental em solo e água subterrânea. Avaliação preliminar* (ABNT NBR 15.515: 2007 – Parte 1).

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (2011). *Passivo Ambiental em solo e água subterrânea. Avaliação confirmatória* (ABNT NBR 15.515: 2011 – Parte 2).

Azevedo, L., Azevedo, R., Carvalho, A., Matos, A., & Nascentes, C. (2003). Contaminação do solo e de águas sub- superficiais por metais pesados no antigo lixão de Viçosa, MG, Brasil. *Geotecnia*, 98. https://doi.org/10.14195/2184-8394_98_2

Baird, C. (2002). *Química Ambiental* (2. ed.). Porto Alegre, RS: Bookam.

Becegato, V. R. (2017). *Qualidade ambiental da área de influência direta e indireta do Aterro controlado desativado de Lages-SC*. (Dissertação de Mestrado). Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (2009). Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. 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. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF.

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). *Manejo Ambientalmente Saudável dos Resíduos Sólidos e questões relacionadas com os esgotos. Agenda 21 Global, Capítulo 21*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global/item/681>. Acesso em: 6 mai. 2018.

Carim, M. J. V., Torres, A. M., Takyama, L. R., Junior, O. M. S., Souza, M.O., Souto, F. A. F., Baia, M. M. Impactos da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo e água nos municípios de Macapá e Santana – Amapá. *Research, Society and Development* v. 11, n. 5, 2022.

- Celere, M. S., Oliveira, A. da S., Trevilato, T. M. B., & Segura-Muñoz, S. I. (2007). Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. *Cadernos de Saúde Pública*, 23(4), 939–947. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2007000400021>
- Cruvinel, V. R. N., Marques, C. P., Cardoso, V., Novaes, M. R. C. G., Araújo, W. N., Angulo-Tuesta, A., Escalda, P. M. F., Galato, D., Brito, P., & Da Silva, E. N. (2019). Health conditions and occupational risks in a novel group: Waste pickers in the largest open garbage dump in Latin America. *BMC Public Health*, 19(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-6879-x>.
- Di Iaconi, C., Rossetti, S., Lopez, A., & Ried, A. (2011). Effective treatment of stabilized municipal landfill leachates. *Chemical Engineering Journal*, 168(3), 1085–1092. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.01.089>.
- Geoambiente. (2014). *Laudo Hidrogeológico: Aterro Sanitário do Município de Lages*.
- Ghaedrahmati, Z., Ghaffari, M., Mehrabi, Y., Alavi, N., Amereh, F., Roostaei, K., & Rafiee, M. (2023). Urban informal waste recycling in Tehran: Knowledge, attitudes and practices towards health risks during recycling process. *Cleaner Waste Systems*, 4, 100064. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100064>.
- Gutberlet, J. (2021). Grassroots waste picker organizations addressing the UN sustainable development goals. *World Development*, 138, 105195. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105195>.
- JURIS Ambiente. Assessoria e Consultoria Ambiental Ltda. **Estudo de Impacto Ambiental do Aterro Sanitário de Lages**. Blumenau, 2003.
- Kabata-Pendias, A. (2010). *Trace Elements in Soils and Plants* (CRC Press (ed.); 4th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10158>.
- Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., & Christensen, T. H. (2002). Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. *Critical*

Reviews in Environmental Science and Technology, 32(4), 297–336.
<https://doi.org/10.1080/10643380290813462>.

Kumar, A., Dhall, P., & Kumar, R. (2010). Redefining BOD:COD ratio of pulp mill industrial wastewaters in BOD analysis by formulating a specific microbial seed. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 64(3), 197–202.
<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.01.005>.

Madeira, G. R., Gonçalves, J. A. C., & Almeida, M. S. L. (2022). A contaminação das águas subterrâneas do aterro sanitário de Itabira (MG). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(4), 1902–1925. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.4.p1902-1925>.

Marques, R. F. P. V. (2011). *Impactos ambientais da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo e na água superficial em três municípios de Minas Gerais*. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Mat, N. A., Benjamin, A. M., & Abdul-Rahman, S. (2017). A review on criteria and decision-making techniques in solving landfill site selection problems. *Journal of Advanced Review on Scientific Research Journal Homepage*, 37(1), 14–32.
www.akademiabaru.com/arsr.html.

Moraes, C. L. (2014). *Caracterização do passivo ambiental lixão desativado do município de Lages-SC*. (Dissertação de Mestrado). Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, SC.

Morita, A. K. M., Ibelli-Bianco, C., Anache, J. A. A., Coutinho, J. V., Pelinson, N. S., Nobrega, J., Rosalem, L. M. P., Leite, C. M. C., Niviadonski, L. M., Manastella, C., & Wendland, E. (2021). Pollution threat to water and soil quality by dumpsites and non-sanitary landfills in Brazil: A review. *Waste Management*, 131, 163–176.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.06.004>.

Muisa Zikali, N., Chingoto, R. M., Utete, B., & Kunedzimwe, F. (2022). Household solid waste handling practices and recycling value for integrated solid waste management in a developing city in Zimbabwe. *Scientific African*, 16, e01150.

<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01150>.

- Nagashima, L. A., Barros Júnior, C., Silva, C. A. da, & Fujimura, A. S. (2009). Avaliação dos níveis de metais pesados em efluente líquido percolado do aterro sanitário de Paranaíba, Estado do Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum. Health Science*, 31(1). <https://doi.org/10.4025/actascihealthsci.v31i1.1154>
- Nakamura, C. Y., Marques, E., Vilela, P., Oda, T., Lima, L., Costa, R., Azevedo, I. C. Avaliação da qualidade da água subterrânea no entorno de um aterro sanitário. *Águas Subterrâneas* v. 28, n.2. p. 28-40, 2014.
- Odonkor, S. T., & Mahami, T. (2020). Microbial Air Quality in Neighborhoods near Landfill Sites: Implications for Public Health. *Journal of Environmental and Public Health*, 2020, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2020/4609164>.
- Oliveira, S. de, & Pasqual, A. (2004). Avaliação de parâmetros indicadores de poluição por efluente líquido de um aterro sanitário. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 9(3), 240–249. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522004000300010>
- Piai, K. A. de., Ferreira, P. C., Trevilato, B. T. M., Segura-Munoz, S. I. Análise dos níveis de metais em água subterrânea coletada a montante e jusante do aterro sanitário de Ribeirão Preto, Brasil. *Águas Subterrâneas* v. 20, n.1. p. 131-138, 2006.
- Qasim, M., Xiao, H., He, K., Noman, A., Liu, F., Chen, M.-Y., Hussain, D., Jamal, Z. A., & Li, F. (2020). Impact of landfill garbage on insect ecology and human health. *Acta Tropica*, 211, 105630. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2020.105630>.
- Remacle, J., Lambert, D., Raes, M., Pigeolet, E., Michiels, C., & Toussaint, O. (1992). Importance of various antioxidant enzymes for cell stability. Confrontation between theoretical and experimental data. *Biochemical Journal*, 286(1), 41–46. <https://doi.org/10.1042/bj2860041>
- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150(3), 468–493.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>

Riguetti, P. F., Cardoso, C. A. L., Cavalheiro, A. A., Lenzi, E., Fiorucci, A. R., & Da Silva, M. S. (2015). Manganês, zinco, cádmio, chumbo, mercúrio e crômio no chorume de aterro sanitário em Dourados, MS, Brasil. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 10(1). <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1538>

Roldan, L. F. (2007). *Tectônica rúptil meso-cenozóica na região do Domo de Lages, SC*. (Dissertação de Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. doi:10.11606/D.44.2007.tde-31072007-155414. Recuperado em 2024-11-12, de www.teses.usp.br.

Scheibe, L. F. (1986). *Geologia e Petrologia do Distrito Alcalino de Lages, SC*. (Tese de Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. doi:10.11606/T.44.2016.tde-16022016-131224. Recuperado em 2024-11-12, de www.teses.usp.br

Sumida, V. Y. D. (2017). *Investigação geofísica (magnetometria) no carbonatito da Fazenda Varela, Domo de Lages, SC*. (Dissertação de Mestrado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. doi:10.11606/D.44.2018.tde-26042018-090729. Recuperado em 2024-11-12, de www.teses.usp.br.

Support for P4P - DJI. (s.d.). DJI. <https://www.dji.com/phantom-4-pro>.

Ugwu, C. O., Ozoegwu, C. G., Ozor, P. A., Agwu, N., & Mbohwa, C. (2021). Waste reduction and utilization strategies to improve municipal solid waste management on Nigerian campuses. *Fuel Communications*, 9, 100025. <https://doi.org/10.1016/j.jfueco.2021.100025>.

Publicação: Publicação no Portal de Periódicos UFJ. As ideias expressas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Contribuições dos autores: Bruno Dalledone Bittar: Conceituação, Curadoria de dados, Análise formal, Investigação. Vitor Rodolfo Becegato: Escrita, Rascunho original. Lara Caroline Becegato: Pesquisa bibliográfica, escrita. Valter Antonio Becegato: Análise de dados, Supervisão, Coordenação de Projeto de Pesquisa, Conceituação, Validação de dados.

Conflito de interesse: Os autores não têm interesses financeiros ou não financeiros relevantes a divulgar.