

**Avaliação do Perigo de Contaminação do Solo em Função de Sistema de Disposição Final de Resíduos Sólidos em Valas**

*Assessment of Soil Contamination Hazard as a Function of the Final Disposal System for Solid Waste in Trenches*

*Evaluación del Peligro de Contaminación del Suelo en Función del Sistema de Disposición Final de Residuos Sólidos en Zanjas*

**Grasiele Simplicio Murari Rodrigues**

Engenheira Ambiental Mestre, Brasil  
grasielemurari@yahoo.com.br

**Ilza Machado Kaiser**

Professora Aposentada, UNESP, Brasil.  
ilza.kaiser@unesp.br

**Anna Silvia Palcheco Peixoto**

Professor Doutora, UNESP, Brasil  
anna.peixoto@unesp.br

## RESUMO

A contaminação por disposição inadequada de resíduos sólidos pode causar danos ambientais de difícil reversão e também riscos à saúde pública. No estado de São Paulo (BR), a legislação permite aos municípios de pequeno porte o licenciamento de aterros em valas. Na maioria dos casos, não é obrigatório executar dispositivos de proteção ambiental como impermeabilização do solo e drenagem de lixiviado e gases. Portanto, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o perigo de contaminação de solo em função deste sistema. Realizou-se uma consulta a especialistas em que se aplicou nota de Nível de Perigo (NP) considerando os fatores: Geologia, Pedologia, Geomorfologia, Hidrografia, Águas Subterrâneas, APA, Uso do Solo, Composição Gravimétrica e Densidades Demográficas. A área de estudo utilizada foi a unidade de gerenciamento de recursos hídricos UGRHI 16 – Bacia Hidrográfica do Tietê Batalha, onde foram identificados os níveis de perigo “Muito Alto” para 3 aterros, “Alto” para 7, “Médio” para 2 e “Baixo” para 5 aterros. Verificou-se também que todos os municípios estudados possuem dispensa de impermeabilização em seus aterros pois seus Excedentes Hídricos atendem ao limite estabelecido pela norma. Porém, a avaliação realizada nesta pesquisa considerou outros fatores importantes e constatou a existência de perigo em diferentes níveis com relação à adoção de aterros em valas em todos os municípios avaliados. Dessa maneira, se conclui que os fatores adotados são relevantes para as tomadas de decisões sobre o sistema de aterro a ser projetado, bem como para definição de critérios para a dispensa de impermeabilização.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema de Disposição Final de Resíduos Sólidos em Valas. Aterros Sanitários de Pequeno Porte. Sistema de Disposição Final de Resíduos Sólidos em Valas.

## ABSTRACT

*Contamination from inadequate disposal of solid waste can cause environmental damage difficult to reverse and also risks to public health. In the state of São Paulo (BR), legislation allows small municipalities to license landfills in trenches. In most cases, it is not mandatory to perform environmental protection devices such as soil sealing and drainage of leachate and gases. Therefore, the aim of this research was to evaluate the danger of soil contamination due to this system. An expert consultation was carried out in which a Hazard Level (NP) score was applied considering the factors: geology; pedology; geomorphology; hydrography; groundwater; environmental protection area; land use; composition and densities gravimetric demographic. It was defined as the area of study water resource management unit UGRHI 16 - Tietê Batalha Hydrographic Basin, where the danger levels “Very High” for 3 landfills, “High” for 7, “Medium” for 2 and “Low” for 5 landfills. It was also found that all the studied municipalities have waterproofing their landfills in accordance with what is established by the Brazilian standard, as their water surpluses, analyzed in terms of local rainfall, meet the limit established by the norm. However, this evaluation considered other important factors, noting the existence of danger on different levels for all municipalities evaluated in relation to the adoption of small landfills. Finally, it is concluded that the factors adopted in this research are relevant to decision making on the system to be designed and to define criteria for waterproofing waiver.*

**KEYWORDS:** Final Disposal System of Solid Waste in Ditch. Soil Contamination by Waste. Small-sized Sanitary Landfills.

## RESUMEN

*La contaminación derivada de la eliminación inadecuada de residuos sólidos puede causar daños ambientales difíciles de revertir y también riesgos para la salud pública. En el estado de São Paulo (BR), la legislación permite a los pequeños municipios autorizar vertederos en zanjas. En la mayoría de los casos, no es obligatorio realizar dispositivos de protección ambiental como el sellado del suelo y el drenaje de lixiviados y gases. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el peligro de contaminación del suelo debido a este sistema. Se realizó una consulta a expertos en la que se aplicó una puntuación de Nivel de Peligrosidad (NP) considerando los factores: geología; edafología; geomorfología; hidrografía; aguas subterráneas; área de protección ambiental; uso del suelo; composición y densidades gravimétricas demográficas. Se definió como área de estudio la unidad de gestión de recursos hídricos UGRHI 16 - Cuenca Hidrográfica del Tietê Batalha, donde los niveles de peligro “Muy Alto” para 3 vertederos, “Alto” para 7, “Medio” para 2 y “Bajo” para 5 vertederos. También se constató que todos los municipios estudiados tienen la impermeabilización de sus vertederos de acuerdo con lo establecido por la norma brasileña, ya que sus excedentes hídricos, analizados en función de las precipitaciones locales, cumplen con el límite establecido por la norma. Sin embargo, esta evaluación consideró otros factores importantes, observando la existencia de peligro en diferentes niveles para todos los municipios evaluados en relación a la adopción de pequeños vertederos. Finalmente, se concluye que los factores adoptados en esta investigación son relevantes para la toma de decisiones sobre el sistema a diseñar y para definir los criterios de renuncia a la impermeabilización.*

**PALABRAS CLAVE:** Sistema de disposición final de residuos sólidos en zanja. Contaminación del suelo por residuos. Vertederos sanitarios de pequeño tamaño.

## 1 INTRODUÇÃO

Desde o início da urbanização a produção de resíduos está em contínuo crescimento, o que gera a necessidade de manejo adequado para garantir a preservação do ambiente e a qualidade de vida da comunidade. No entanto, grande parte dos municípios brasileiros possuem áreas de depósito inadequado de resíduos sólidos gerando um passivo ambiental.

Entre todos os processos envolvidos na gestão de resíduos sólidos, incluindo coleta, transporte, processamento, reciclagem e disposição, a eliminação de resíduos em um aterro sanitário adequado é o mais crucial, visto que os resíduos despejados em espaço aberto ou em locais impróprios são uma séria ameaça ao meio ambiente e à saúde humana. Aliado a isso, o crescimento populacional nos centros urbanos agrava o problema da administração dos resíduos sólidos, principalmente em partes menos desenvolvidas do mundo. Dessa maneira, a gestão de resíduos sólidos é agora uma grande preocupação global. (Kumar & Hassan, 2013; Rahman et al., 2008).

Nesse sentido, é um grande desafio alinhar o crescimento populacional ao desenvolvimento sustentável (ODS 3, Saúde e bem-estar; ODS 6, Água limpa e saneamento; ODS 11, Cidades e comunidades sustentáveis) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), sendo que essa última estabeleceu inicialmente a extinção de lixões para disposição de resíduos sólidos até o ano de 2014, sendo prorrogado o prazo para o ano de 2023. Ressalta-se que as principais formas de disposição final de resíduos sólidos de origem doméstica e comercial adotadas pelos municípios brasileiros são: aterros sanitários; aterros controlados; ou lixões. Dessas três, o aterro sanitário é o único método considerado adequado. Entretanto, os municípios pequenos podem optar por métodos simplificados de implantação de seus aterros.

Nacionalmente, o tema é regido pela Resolução CONAMA nº 404, (BRASIL, 2008), que estabelece procedimentos de licenciamento ambiental de aterros sanitários de pequeno porte simplificados, ou seja, aqueles com disposição diária de até 20 t (vinte toneladas) de resíduos sólidos urbanos, sendo este limite mais restritivo no estado de São Paulo em que o limite diário é de 10 t (dez toneladas), conforme Roteiro para Elaboração de Estudo Ambiental para Implantação de Aterros em Vala com Capacidade de Projeto de até 10 t/dia (CETESB, 2018a.). A fim de estabelecer os critérios para aplicação desta resolução, criou-se a Norma Técnica NBR 15849, válida desde 2010, que define as diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento para resíduos sólidos urbanos em aterros deste porte (ABNT - NBR 15849, 2010). Contudo, estes procedimentos não contemplam a obrigatoriedade de execução de sistemas de proteção ambiental como impermeabilização do solo, drenagem de lixiviado e de gases e monitoramento do solo, águas superficiais e subterrâneas.

Quando a destinação de resíduos sólidos é realizada sem os devidos cuidados e proteção ambiental, podem ocorrer contaminações de difícil reversão com custos muito altos para o município remediar e controlar os impactos gerados. Montero e Peixoto (2013) também concluíram em seu estudo sobre Vulnerabilidade e Perigo de Contaminação dos Aquíferos, através da correlação das vulnerabilidades identificadas com as fontes potenciais de contaminação, que independentemente da localização, a disposição de resíduos sólidos apresenta alto perigo de contaminação. Portanto, é importante avaliar os prejuízos ambientais considerando todos os impactos e os custos de remediação devido às más práticas de destinação final dos resíduos sólidos e assim, permitir o entendimento necessário para desenvolvimento de boas políticas.

Iwai (2012) considerou o aterro sanitário em valas como uma solução não sustentável ao longo do tempo, pois são conhecidos os questionamentos quanto à possível criação de passivos ambientais nas áreas de disposição, da necessidade da preservação da qualidade das águas e do solo, e ainda, da existência de tecnologias atualmente consideradas mais limpas. O autor também ressaltou que, enquanto for utilizado este sistema de caráter provisório, o perigo da ocorrência de contaminação é iminente, indicando a necessidade de ao menos se monitorar estas áreas.

Outro estudo relevante foi realizado por Teixeira e Pansani (2002) na área do aterro municipal de Nova Odessa - SP e no laboratório da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - FEC/UNICAMP, a fim de avaliar o potencial poluidor/contaminador de aterros em valas. O autor apontou que este sistema apresenta real possibilidade de contaminação do solo e, eventualmente, de águas subterrâneas, sendo necessária a adoção de um sistema eficiente de impermeabilização de fundo e das laterais, quando inclinadas.

Metais como cromo, níquel e cádmio são provenientes do despejo de baterias recarregáveis, aço inoxidável, couro curtido, tecidos e equipamentos elétricos disfuncionais, como ligas e materiais de resíduos em que o cromo e o cádmio são utilizados como agentes anticorrosivos. O chumbo também pode chegar ao solo através de resíduos com tinta e gasolina. O revestimento de peças mecânicas, especialmente de algumas indústrias de exploração de óleo e manutenção, além de peças mecânicas de veículos, também pode ser uma fonte de níquel presente em aterros (CEMPEL et al., 2006).

Embora não seja possível avaliar com precisão se a presença de metais nas proximidades das áreas de aterros de resíduos sólidos seja função exclusiva dessa atividade e o quanto isso afeta a população, aterros em valas tendem a não ser tão controlados. Pesquisas efetuadas em países da África mostram que a proximidade de núcleos habitacionais dos locais de disposição final de resíduos é um fator de risco à qualidade de vida da população, como destacado a seguir.

Em Gana, Odoi et al. (2008) relataram que os níveis de cádmio e chumbo estão muito mais altos do que os valores recomendados pela Organização Mundial de Saúde e pela Organização para Alimentação e Agricultura, em vegetais cultivados em três áreas com descarte de resíduos localizadas em Kumasi, município de Gana.

Na Nigéria, um estudo realizado em Uyo, avaliou os níveis de alguns metais e metaloides nos solos próximos a uma área de descarte municipal de resíduos sólidos, visando fornecer informações sobre a extensão da contaminação, risco ambiental e à saúde humana. As concentrações de metais e metaloides nas áreas de estudo foram superiores às do local de controle e revelaram que as amostras de solo em distâncias de 10 e 20 metros da área de descarte, estavam altamente poluídas com cádmio. Além disso, a avaliação do risco ambiental realizada mostrou que o cádmio contribuiu com 98-99% do risco total. No entanto, nenhum risco à saúde foi observado uma vez que os índices de perigo para os metais e metaloides foram menores que um. Porém, as crianças foram avaliadas como mais suscetíveis à contaminação do que os adultos (IHEDIOHA et al. 2017).

De acordo com Samuding (2009), na metrópole de Uyo, os depósitos de resíduos a céu aberto ainda são os principais meios de destinação de resíduos sólidos, os quais são despejados indiscriminadamente, sem provisão para controle de lixiviação. Vários fluxos de resíduos de diferentes fontes acabam nesses depósitos, e devido à heterogeneidade e complexidade dos resíduos, esses despejos contêm uma variedade de contaminantes e produzem lixiviado que

migra para as águas subterrâneas.

Por consequência, os solos podem ser contaminados com metais e metaloides, tais como chumbo, cádmio, zinco, ferro, níquel, manganês e cromo. A migração desses contaminantes provenientes de resíduos sólidos municipais para o solo circundante é um processo geoquímico complexo. (BOZKURT et al., 2002).

Os metais e metaloides são persistentes no ambiente e podem se acumular a níveis tóxicos, plantas cultivadas nas proximidades dos aterros podem absorvê-los e transferir aos animais pela pastagem, atingindo assim a cadeia alimentar dos humanos. Estes metais e metaloides são xenobióticos e constituem sérios perigos para a saúde. O chumbo e o cádmio podem causar danos no fígado e nos rins, enquanto o zinco, o cobre e níquel, embora sejam minerais essenciais, podem ser prejudiciais em altas concentrações (LUCKEY et al., 1977).

Entretanto, em muitos casos, o manejo adequado dos resíduos sólidos urbanos não é prioridade da administração pública municipal. Assim, os investimentos relacionados são postergados nestas localidades, sendo comum encontrar áreas que são ou já foram utilizadas como lixão, bolsão ou aterro de resíduos sem os devidos cuidados para não causar contaminação.

Deste modo, se considerou necessário estudar melhor as consequências do sistema de destinação final dos resíduos sólidos em valas para que os resultados dessa pesquisa possam auxiliar as tomadas de decisões e gerar reflexões sobre sua gestão, além de facilitar o conhecimento dos fatores de perigo.

A técnica utilizada para se atingir esse objetivo foi a Análise de Decisão de Multicritério (MCDA), que de acordo com Roy (1997), é um método aplicável para estruturar um problema através dos conceitos de ação e do grupo de critério inteligível para facilitar a comunicação no processo de decisão, formando uma convicção ao invés de determinar um ideal. A MCDA aplicada aos estudos ambientais teve um crescimento significativo na última década (HUANG et al. 2011 e GUARNIERI, 2015).

Nascimento et al. (2017) se embasaram no método MCDA para desenvolver um modelo de avaliação da suscetibilidade aos impactos ambientais para as áreas de descarte de resíduos sólidos. Para isso, também consideraram em sua metodologia de estudo, entre outras, a seleção de fatores ambientais de decisão e subfatores. Com relação à escolha dos fatores avaliados, Nascimento (2012), no desenvolvimento de uma Proposta para Indicações de Áreas para a Implantação de Aterro Sanitário no Município de Bauru (SP), adotou como fatores relevantes a geologia, pedologia, geomorfologia, recursos hídricos e clima, com subfatores associados.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Escolha da Área de Estudo**

A área escolhida foi a unidade de gerenciamento de recursos hídricos, UGRHI-16, a qual abrange a Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha, com intuito de estudar uma região do estado de São Paulo composta, em sua maior parte, por municípios caracterizados de pequeno porte. Nela, mais de 50 % dos municípios geram até 10 t (dez toneladas) de resíduos por dia.

A área da Bacia Hidrográfica em estudo é composta por 36 municípios, dentre os quais 27 se enquadram como de pequeno porte por gerar até 10 toneladas diárias de resíduos sólidos, porém, 10 municípios realizam o transbordo para aterros particulares e 17 deles utilizam o sistema em valas para destinação final de resíduos sólidos. Para estes 17, foi realizada a caracterização dos fatores ou processos antrópicos e ambientais, a fim de conhecer a fragilidade de cada um quanto à execução de um aterro de resíduos sólidos em valas.

## **2.2 Avaliação de Perigo de Contaminação de Solo em função do Sistema de Disposição Final de Resíduos Sólidos em Valas**

Após definição da área de estudo, foram localizadas as áreas dos aterros sanitários de pequeno porte (ASPP) em valas dentro da Bacia Hidrográfica do Tietê-Batalha, através das coordenadas geográficas obtidas em consulta aos Índices da Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR) de cada município (CETESB, 2018b) e mapa da UGRHI 16 (IGC, 2011), onde os municípios encontravam-se delimitados. Em seguida, através do SIG QGIS 2.18.14 foi produzido o mapa da bacia com apontamento dos 17 municípios com ASPP em valas.

Assim, para realizar esta avaliação de perigo de contaminação de solo em função do sistema de disposição final de resíduos sólidos em valas decidiu-se pelo uso da Análise Multicritérios (MCDA) a fim de facilitar o processo de decisão e gerando uma proposta que possa ser utilizada em outras avaliações e localidades. Porém, se utilizou a metodologia apresentada em Fonseca et al. (2008) uma vez que análise considerou aspectos qualitativos e quantitativos.

Fonseca et al (2018) realizou Avaliação Multicritério Estruturada para conhecer a Percepção de Especialistas quanto à Qualidade das Infraestruturas Cicloviárias no Brasil se baseou no método Structured Pairwise Comparison (SPC) utilizado por Sharifi et al. (2006) e Taleai et al. (2007) como uma alternativa ao procedimento Pairwise Comparison usualmente empregado no método AHP (Analytic Hierarchy Process). De acordo com Fonseca et al (2018), o método empregado em seu estudo envolveu uma revisão da literatura e a aplicação de questionários enviados a especialistas sobre aspectos que promovam a qualidade da infraestrutura cicloviária, com o objetivo de hierarquizá-los, por importância, para que seja possível identificar que investimentos seriam prioritários na implantação dessa infraestrutura.

Dessa maneira, primeiramente foi enviado formulário de consulta a 16 especialistas, dos quais 8 responderam às questões propostas que permitiram uma análise de alguns fatores pré-determinados, quantificando e ordenando-os quanto ao seu nível de perigo e sua ordem de relevância. O perfil desses especialistas incluía graduações, mestrados e doutorados nas áreas de geotecnia ambiental, hidráulica, hidrologia, saneamento básico, geologia, engenharia ambiental e sanitária, mecânica de solos, agronomia (irrigação e drenagem), bem como atuações na área temática relacionada aos aterros sanitários e um deles possui especialização em análise ambiental em ciências da terra.

A definição dos fatores se embasou na revisão bibliográfica realizada sobre impactos ambientais de sistemas similares, transporte de poluentes, legislação, normas, resoluções e diretrizes aplicáveis, sendo: F1 (Geologia), pois as características geológicas podem influenciar quanto à infiltração de água se as formações rochosas forem porosas ou possuírem falhas; F2 (Pedologia), que se trata de característica que determina alta ou baixa permeabilidade no terreno; F3 (Geomorfologia), uma vez que a forma do terreno influencia o escoamento e as áreas planas são propensas à ocorrência de infiltração e lixiviação; F4 (Hidrografia), por ser

critério em norma que se tenha uma distância mínima (> 200 m) dos cursos hídricos; F5 (Águas Subterrâneas), critério em norma à respeito da profundidade do lençol freático; F6 (Áreas de Proteção Ambiental) devido à importância de se respeitar as áreas protegidas; F7 (Uso do Solo), pois pode causar a propagação de contaminação; F8 (Composição Gravimétrica) para conhecimento do percentual de matéria orgânica, fator considerado relevante com relação à geração do lixo; e F9 (Densidades Urbanas e Rurais), fator que possibilita uma melhor compreensão da distribuição da massa humana nos territórios municipais das áreas estudadas e sua influência na geração dos resíduos.

A consulta a especialistas foi realizada por um formulário com 10 questões na plataforma virtual Survey Monkey, que direcionou por e-mail o convite com o link para acesso dos especialistas convidados ao formulário, o qual permitiu aos respondentes aplicarem notas para os níveis de perigo (NP) referentes aos aspectos identificados na área de estudo para cada fator avaliado e também classificaram a relevância dos fatores escolhidos.

As notas para NP foram aplicadas adotando-se um intervalo de 0 a 5, a fim de facilitar a avaliação, em que o menor valor foi aplicado para as situações de menor perigo e o maior valor para as situações de maior perigo, definidos 0 a 1 "Muito Baixo"; 1,1 a 2 "Baixo"; 2,1 a 3 "Médio"; 3,1 a 4 "Alto"; 4,1 a 5 "Muito Alto".

A priorização dos elementos se deu através da atribuição de pesos para cada fator e cada tema (aspecto) obtidos na consulta a especialistas. Assim, tendo como referência o método SPC, se realizou a análise do grau de importância através da somatória dos pesos dados pelos respondentes para cada tema em cada fator avaliado. Esta somatória foi normalizada de forma que sua soma totalizasse 1 (um), conforme Tabela 1. A soma normalizada do tema foi calculada através da equação (01):

$$SNt = \frac{ST}{\sum ST} \quad (01)$$

Em que:  $SNt$  é a soma normalizada do tema;  $ST$  é a soma das notas aplicadas para um determinado tema;  $\sum ST$  é a somatória de todos os temas.

Tabela 1 - Exemplo de uma Tabela de Grau de Importância de Temas por Fator

Temas de Pedologia	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	ST	SNt
Argissolo	1	2	2	2	2	2	2	4	17	0,38
Latossolo textura argilosa	4	4	3	3	5	3	3	2	27	0,61
<b>Somatória</b>									<b>44</b>	<b>1</b>

Nota: R-respondente – 8 especialistas responderam o questionário

Inicialmente, para a atribuição dos pesos dos fatores, os dados respondidos na consulta a especialistas foram somados. Em seguida, se aplicou uma fórmula de normalização (eq. 02) para as somas obtidas, referente à relevância dos fatores. Para o cálculo dos pesos dos fatores foi necessário realizar a inversão através da divisão de 1 pelo valor da soma, pois a ordem de relevância foi aplicada de forma que a nota 1 foi atribuída ao fator de maior relevância, enquanto a nota 9 foi atribuída para o fator menos relevante, isto porque a proposta do questionário aplicado na consulta a especialistas foi organizar os 9 fatores propostos por ordem de relevância. Na equação (02) pode ser observada a forma como os pesos dos fatores foram calculados e normalizados, após sua inversão.

$$PF = \frac{1/SF}{\sum(\frac{1}{SF})} \quad (02)$$

Em que:  $PF$  é a normalização do fator, ou seja, o peso do fator;  $SF$  é a soma do fator;  $\sum(\frac{1}{SF})$  é a somatória de todos os fatores.

Os pesos dos temas e dos fatores foi determinado por balanço estatístico aplicado sobre as notas dos especialistas, e com estes dados organizados, conforme exemplo da Tabela 1, separadamente para cada Fator com seus respectivos Temas. Estes pesos posteriormente foram aplicados aos aspectos identificados nos municípios estudados. Assim, foi calculada a  $NM$  (Nota do Município) multiplicando a  $NP$  (Nota do Nível de Perigo) do Tema identificado na área estudada por  $PF$  (Peso do Fator), conforme equação (03).

$$NM = NP \times PF \quad (03)$$

Em que:  $NM$  é a Nota do Município;  $NP$  é a Nota do Nível de Perigo do Tema identificado na área estudada;  $PF$  é o Peso do Fator.

Calculadas as notas dos municípios para cada tema, estas foram somadas e normalizadas aplicando-se as equações (04) e (05). Ressalte-se que para os municípios que não possuem dados do fator 8 (gravimetria), a soma da ponderação foi realizada através da somatória das Notas dos Municípios ( $NM$ ) para os outros fatores, exceto o F8, ou seja:

$$\sum NM * = NM \times F1 + NM \times F2 + NM \times F3 + NM \times F4 + NM \times F5 + NM \times F6 + NM \times F7 + NM \times F9 \quad (04)$$

Em que:  $\sum NM *$  é a Somatória das 8 Notas do Município;  $NM \times Fm$  é a Nota do Município para cada fator Fator m.

Apesar de o fator gravimetria mostrar-se irrelevante neste trabalho, pois o alvo do estudo foi um conjunto de municípios de pequeno porte, onde a composição gravimétrica dos resíduos entre eles é muito semelhante, a metodologia apresentada propõe a análise deste aspecto para uma possível aplicação em outras áreas de estudo com características diferentes. Além disso, o percentual da matéria orgânica gerada é um dado utilizado no cálculo do excedente hídrico da área do aterro.

Para os demais municípios, a soma da ponderação foi realizada através da somatória de todas as Notas dos Municípios ( $NM$ ), ou seja:

$$\sum NM = NM \times F1 + NM \times F2 + NM \times F3 + NM \times F4 + NM \times F5 + NM \times F6 + NM \times F7 + NM \times F8 + NM \times F9 \quad (05)$$

Em que:  $\sum NM *$  é a Somatória das 9 Notas do Município;  $NM \times Fn$  é a Nota do Município para cada fator Fator n.

Estas somatórias foram normalizadas separadamente para os municípios com e sem dados de gravimetria, aplicando-se a equação (06):

$$\sum normalizada = \frac{Valor-Máximo}{Mínimo-Máximo} \quad (06)$$



Em que:  $\Sigma$  *normalizada* é a somatória das notas dos municípios com normalização; Valor é a Soma das Notas dos Municípios ( $\Sigma NM$ ); Máximo é a Soma de *NM* na situação mais perigosa; Mínimo é a Soma de *NM* na situação menos perigosa.

Os valores obtidos foram classificados em intervalos de NP, sendo de 0 a 0,19 “muito baixo”, 0,2 a 0,39 “baixo”, 0,4 a 0,59 “médio”, 0,6 a 0,79 “alto” e 0,8 a 1 “muito alto”.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Caracterização da área

O Mapa Geológico do Estado de São Paulo (IPT,1981) foi utilizado para identificar a geologia sendo que áreas estudadas se encontram sobre a Formação Adamantina, e de acordo com Mendonça e Gutierrez (2000), essas formações possuem características predominantemente arenosas. Portanto, foi possível concluir que todos os municípios estão sobre rochas compostas de arenitos, material que possui alto teor de infiltração.

Após espacialização no Mapa Pedológico do estado de São Paulo (IF, 2018; IDE, 2018), foram identificados os tipos de solos predominantes nas áreas dos aterros dos municípios estudados conforme Quadro 1.

Quadro 1- Pedologia dos Municípios com ASPP em valas da UGRHI 16

Municípios	Pedologia, Ordem Textura
Adolfo, Irapuã, P. Alves, Reginópolis, Sales	Latossolos (LV21), Média
Guarantã	Latossolos (LV22), Argilosa ou Média
Balbinos, Borborema, S. Ernestina, Cafelândia, Ibirá, Dobrada, Elisiário, Potirendaba	Argissolos (PVA1), Arenosa/Média
Guaiçara, Marapoama e Sabino	Argissolos (PVA4), Arenosa/Média ou Média/Argilosa

Fonte: IF, 2018.

Segundo o Plano de Bacia (CBH TB, 2008), foi constatado que a UGRHI 16 está inserida na Província Geomorfológica denominada de Planalto Ocidental. A Província do Planalto Ocidental é caracterizada pela presença de formas de relevo levemente onduladas com longas encostas e baixas declividades, representadas, fundamentalmente, por Colinas Amplas e Colinas Médias com topos aplanados. Quanto à geomorfologia dos 17 municípios estudados, através do mapa geomorfológico do plano de bacia (CBH TB, 2008), foram examinadas as características dos relevos nas áreas dos aterros. Assim, apresenta-se o Quadro 2 com as descrições de cada município avaliado, onde pode ser observado que somente o município de Balbinos se encontra sobre Morrotes Alongados e Espigões, cuja drenagem é de média a alta densidade.

Quadro 2- Geomorfologia dos Municípios com aterros em valas da UGRHI 16

Municípios	Geomorfologia
Adolfo, Borborema, Guaiçara, Guarantã, Irapuã, Presidente Alves, Sabino e Sales	Colinas Amplas
Santa Ernestina, Dobrada, Elisiário, Marapoama, Ibirá, Cafelândia, Reginópolis e Potirendaba	Colinas Médias
Balbinos	Morrotes Alongados e Espigões

Fonte: Comitê de Bacia Hidrográfica do Tietê – Batalha (CBH-TB), 2016.

A distribuição espacial dos aterros em valas na Rede de Drenagem do Estado de São Paulo possibilitou a análise das distâncias dos corpos hídricos com relação aos aterros e se

verificou que nenhum dos aterros estudados adentrou a distância mínima estabelecida por norma ( $> 200$  m). Entretanto, os aterros em valas dos municípios de Sabino e Balbinos encontram-se muito próximos do limite, o que merece atenção para o planejamento das instalações futuras.

De acordo com os IQRs dos aterros de cada um dos municípios estudados, dados por meio de avaliação em visita técnica da CETESB, se apontou os coeficientes de permeabilidade (P) do solo classificando-os como inferior ou superior a  $10^{-6}$  cm/s, sendo acima deste valor considerada inadequada. Foram identificados os municípios cujos aterros estão sobre uma profundidade entre 1 e 3 metros de distância do lençol subterrâneo, sendo considerada inadequada quando inferior a 1 metro (CETESB, 2018b). A partir dos dados avaliados, foi possível concluir que os ASPP em valas dos municípios estudados estão em conformidade com a norma técnica brasileira ABNT - NBR 15849 (2010), conforme Quadro 3.

Quadro 3- Profundidades do lençol freático (P) e Coeficientes de Permeabilidade (k)

Municípios	(P), (k)
Adolfo, Dobrada, Cafelândia, Elisiário, Guarantã, Guaiçara e Marapoama	$P > 3$ m, $k < 10^{-6}$ cm/s
Balbinos, Borborema, Ibirá, Irapuã, P. Alves, Reginópolis, S. Ernestina, Sabino, Sales e Potirendaba	$1 \leq P \leq 3$ m, $k < 10^{-6}$ cm/s

Fonte: CETESB, 2018.

A espacialização dos aterros sanitários de pequeno porte operantes na bacia hidrográfica do Tietê Batalha sobre o Mapa de Unidades de Conservação (UC) do MMA (2018) apontou a existência de 3 aterros inseridos na área da APA Rio Batalha criada em 2001 e gerida pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Os municípios nestas condições são Balbinos, Reginópolis e Presidente Alves.

Adicionalmente, através da espacialização dos ASPP em valas junto ao Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do CBH TB (2008), foi possível identificar os tipos de usos da terra ao redor dos aterros em operação, em um raio de aproximadamente 500 metros. Também se constatou que os canaviais e as pastagens são as ocupações predominantes na área da bacia. O Quadro 4 mostra os usos e as ocupações do solo nas regiões dos aterros sanitários de pequeno porte em valas existentes na UGRHI 16.

Para a caracterização da composição dos resíduos sólidos gerados, os municípios que realizaram estudo gravimétrico, que consiste na análise de uma amostra de resíduos, apresentaram seus dados de gravimetria, relacionados na Tabela 2, os demais municípios não possuem ou não forneceram seus resultados. A partir dos dados da composição foi possível constatar que a geração dos resíduos orgânicos é sempre superior aos demais componentes.

Quadro 4- Uso e Ocupação do Solo

Municípios	Uso e Ocupação
Adolfo	Pastagem e Culturas
Balbinos, Cafelândia, Guaiçara, Sabino, Guarantã, Reginópolis	Pastagem
Borborema, Irapuã	Cana, Pastagem e Culturas Perenes
Dobrada e Santa Ernestina	Cana
Elisiário, Ibirá, Marapoama, Potirendaba	Cana e Pastagem
Presidente Alves	Pastagem, Reflorestamento e Mata
Sales	Pastagem, Mata e Cana

Fonte: Comitê de Bacia Hidrográfica do Tietê – Batalha (CBH-TB), 2016.

Tabela 2 - Composição Gravimétrica

(%)	Guaiçara	Marapoama	P.Alves	Reginópolis	Sales	Borborema	Elisiário	Guarantã
Plástico	20,0	14,0	20,0	18,0	14,0	10,0	15,0	10,8
Papel	12,0	9,0	14,0	10,0	5,0	4,5	7,0	19
Metal	9,0	1,0	2,0	4,0	3,0	1,5	1,0	2,3
Vidro	2,0	9,0	1,0	1,0	6,0	0,0	1,0	2,7
Orgânico	46,0	59,0	51,0	60,0	47,0	77,0	60,0	45,7
Outros	11,0	8,0	12,0	8,0	25,0	7,0	16,0	19,5

Fonte: Rodrigues, 2019.

### 3.2 Níveis de Perigo de Contaminação de Solo em função do Sistema de Disposição Final de Resíduos Sólidos em Valas

A consulta permitiu estimar a ordem e o grau de relevância dos aspectos identificados e dos fatores estudados, para assim, serem aplicados os devidos pesos ao calcular os níveis de perigo provenientes de aterros sanitários em valas para cada município de pequeno porte.

Os fatores foram hierarquizados em função das respostas dos especialistas através de uma escala de notas progressivas de 1 a 9 em ordem de relevância. A Tabela 3 mostra os pesos dos fatores obtidos através das somas normalizadas dos 9 fatores estudados e a Tabela 4 demonstra a Ordem de Relevância dos 9 fatores estudados, a qual foi obtida através dos pesos dos fatores, após normalização.

Tabela 3 - Pesos dos fatores

FAT	REL.	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	SF	1/SF	PF
F1	4	9	3	5	1	6	5	2	7	38	0,026	0,100
F2	2	8	1	2	6	5	2	1	1	26	0,038	0,146
F3	8	7	8	9	7	7	6	6	2	52	0,019	0,073
F4	3	1	5	6	5	3	4	4	6	34	0,029	0,111
F5	1	2	2	1	2	1	1	3	3	15	0,067	0,252
F6	5	6	6	4	3	2	9	5	4	39	0,026	0,097
F7	7	5	9	3	9	4	7	7	5	49	0,020	0,077
F8	6	3	4	8	4	8	3	8	8	46	0,022	0,082
F9	9	4	7	7	8	9	8	9	9	61	0,016	0,062
<b>Somatória</b>											<b>0,264</b>	<b>1,000</b>

Nota: \*FAT. = Fator; REL. = Relevância

Tabela 4 - Ordem de Relevância dos fatores

Relevância	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º
Fator	F5	F2	F4	F1	F6	F8	F7	F3	F9

O resultado da classificação da ordem de relevância dos fatores analisados mostrou maior relevância dos fatores F5 (Águas Subterrâneas), F2 (Pedologia) e F4 (Hidrografia) na determinação dos níveis de perigo dos aterros estudados.

As notas obtidas para cada aspecto encontrado na área de estudo foram aplicadas e multiplicadas pelo peso calculado para seus respectivos fatores. As notas calculadas para cada município (NM) referentes a cada fator foram normalizadas e em seguida, foram somadas e posteriormente normalizadas conforme descreveu a metodologia.

Ressalta-se que foi necessário realizar os cálculos separadamente para os municípios com e sem dados de gravimetria de resíduos sólidos para que a ausência destes dados não interferisse no resultado da avaliação para municípios que possuem estas informações.

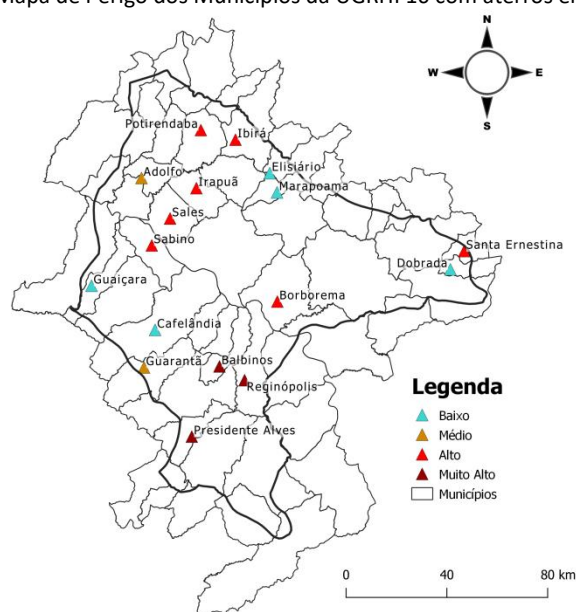
O Quadro 5 e a Figura 1 apresentam os níveis de perigo de cada município estudado, identificados na Avaliação de Perigo desenvolvida por este estudo.

Quadro 5- Resumo dos Níveis de Perigo

Municípios	Níveis de Perigo
Cafelândia, Dobrada, Elisiário, Guaçara e Marapoama	Baixo
Adolfo e Guarantã	Médio
Borborema, Ibirá, Irapuã, Potirendaba, Sabino, Sales e S. Ernestina	Alto
Balbinos, Presidente Alves e Reginópolis	Muito Alto

Fonte: Exemplo, 2014.

Figura 1 - Mapa de Perigo dos Municípios da UGRHI 16 com aterros em valas



### 1.2.1 Discussão considerando o excedente hídrico

A ABNT - NBR 15849 (2010) define critérios para a dispensa da impermeabilização complementar, tendo como variáveis a permeabilidade, o excedente hídrico, a fração orgânica dos resíduos e a profundidade do lençol freático.

O parâmetro de análise Excedente Hídrico (EH) é obtido em função das séries anuais de precipitação média, temperaturas e coeficiente de escoamento superficial, ou seja, leva em conta os aspectos pluviométricos da região estudada. Este valor pôde ser consultado através do portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018), informando apenas as coordenadas geográficas do local, tendo em vista que este órgão possui dados oficiais e considera as estações mais próximas ao local de estudo.

A Tabela 5 mostra os limites de EH estabelecidos em função da fração orgânica de resíduos, o coeficiente de permeabilidade do solo local e os excedentes hídricos obtidos. Para consulta dos EHs considerou-se as coordenadas geográficas das áreas dos aterros e os tipos de solos, admitindo solo arenoso para os latossolos e argiloso para os argissolos e os coeficientes de permeabilidade dos solos verificados nos formulários de IQR como  $<10^{-6}$  cm/s. Quanto à

fração orgânica dos resíduos, considerou-se de acordo com as composições gravimétricas identificadas que todos possuem mais que 30% de composição orgânica.

Tabela 5 - Valores de EH obtido e Limite para Dispensa de Sistema de Impermeabilização

Títulos	Tipo de solo	Coefficiente de permeabilidade do solo local k (cm/s)	Profundidade do freático (m)	Fração orgânica dos resíduos (%)	Excedente Hídrico - EH (mm/aa)	EH máximo p/ dispensa da impermeabilização ABNT - NBR 15849 (2010)
Adolfo	arenoso	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	$P > 3$	$> 30\%$	118	188
Balbinos	argiloso	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	$1 \leq P \leq 3$	$> 30\%$	21,68	188
Borborema	argiloso	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	$1 \leq P \leq 3$	$> 30\%$	18,23	188
Cafelândia	argiloso	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	$P > 3$	$> 30\%$	24,24	188
Dobrada	argiloso	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	$P > 3$	$> 30\%$	54,98	188
Elisiário	argiloso	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	$P > 3$	$> 30\%$	23,42	188
Guaiçara	argiloso	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	$P > 3$	$> 30\%$	30,7	188
Guarantã	arenoso	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	$P > 3$	$> 30\%$	109,86	188
Ibirá	argiloso	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	$1 \leq P \leq 3$	$> 30\%$	31,39	188
Irapuã	arenoso	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	$1 \leq P \leq 3$	$> 30\%$	114,51	188
Marapoama	argiloso	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	$P > 3$	$> 30\%$	21,5	188
Potirendaba	argiloso	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	$P > 3$	$> 30\%$	26,42	188
P. Alves	arenoso	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	$1 \leq P \leq 3$	$> 30\%$	109,71	188
Reginópolis	arenoso	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	$1 \leq P \leq 3$	$> 30\%$	103,17	188
Sabino	argiloso	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	$P > 3$	$> 30\%$	24,7	188
Sales	arenoso	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	$P > 3$	$> 30\%$	114,16	188
S. Ernestina	argiloso	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	$1 \leq P \leq 3$	$> 30\%$	58,68	188

Os critérios para dispensa de sistema de impermeabilização complementar foram analisados conforme estabelece a ABNT - NBR 15849 (2010), permitindo a comparação entre os resultados dos EH obtidos para as áreas estudadas e o EH máximo para dispensa da impermeabilização de acordo as características dos locais, admitindo-se então um EH de 188 mm/aa para todos os ASPP avaliados (Tabela 5).

Deste modo, se verificou que os EHs das áreas estudadas não ultrapassam o limite estabelecido pela norma, sendo todos caracterizados como dispensados para implantação de impermeabilização. Porém, com base na avaliação realizada para os municípios da UGRHI 16, que considerou para análise outros fatores expressivos para a questão, constatou-se a existência de perigo em diferentes níveis para todos os municípios caracterizados com relação à adoção de sistema de disposição final de resíduos sólidos em valas.

Sendo assim, se considera que a análise dos fatores ou processos ambientais e antrópicos adotados nesta pesquisa são relevantes para tomadas de decisões a respeito do sistema a ser projetado para destinação final dos resíduos sólidos, bem como para definição de critérios para dispensa de sistema de impermeabilização.

Os resultados desta pesquisa mostraram que há municípios que apresentaram dispensa de impermeabilização, mas que na avaliação de perigo foram caracterizados com alto e muito alto nível de perigo, sendo para Balbinos, Presidente Alves e Reginópolis “Muito Alto” e para Borborema, Ibirá, Irapuã, Potirendaba, Sabino, Sales e Santa Ernestina “Alto”.

### 3 CONCLUSÕES

Os resultados apontaram o nível de perigo para as áreas com aterros em valas, que de acordo com as características locais possuem maior ou menor perigo de ocasionar contaminação do solo, de águas superficiais e subterrâneas. Em uma análise geral, dos 17 municípios analisados, 3 deles foram identificados em uma situação de nível de perigo de contaminação “muito alto”, que são: Balbinos, Presidente Alves e Reginópolis. Nestes municípios os aterros em valas estão instalados em áreas com solos de permeabilidade alta, exceto Balbinos, os 3 possuem baixa profundidade do lençol freático e estão dentro de área de Proteção Ambiental (APA).

A classificação com alto nível de perigo elencou os municípios de Borborema, Ibirá, Irapuã, Potirendaba, Sabino, Sales e Santa Ernestina que possuem solo de baixa permeabilidade, mas há baixa profundidade do lençol freático em seus aterros.

As áreas dos aterros em valas dos municípios de Adolfo e Guarantã apresentaram um nível de perigo médio e nos municípios de Dobrada, Elisiário, Marapoama, Cafelândia e Guaiçara os níveis de perigo constatados foram baixos. Nenhum município apresentou nível muito baixo de perigo.

Dessa maneira, a avaliação dos fatores considerando processos ambientais e antrópicos apontaram as áreas sensíveis ao sistema de destinação final de resíduos sólidos em valas, o que poderá ser aplicado para nortear os processos de ordenamento e planejamento do Manejo de Resíduos Sólidos na Bacia Hidrográfica e nos municípios abordados.

Além disso, a metodologia desenvolvida para esta Avaliação de Perigo de contaminação do solo por aterro sanitário em valas poderá ser utilizada para avaliação de outras localidades, seja uma área específica, município ou região.

## 4 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 15849: Resíduos Sólidos Urbanos - Aterros Sanitários de Pequeno Porte - Diretrizes para Localização, Projeto, Implantação, Operação e Encerramento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

BOZKURT, S.; MORENO, L.; NERETNIEKS, I. Long-Term Processes in Waste Deposits. **Science of Total Environment**, 250 (1-3), 101–121, 2000.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução no 404, de 12 Novembro de 2008: Estabelece Critérios e Diretrizes para o Licenciamento Ambiental de Aterro Sanitário de Pequeno Porte de Resíduos Sólidos Urbanos. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 12 nov. 2008. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8931>. Acesso em: 21 abril 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC)**. 2008. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/areas-protetidas/cadastro-nacional-de-ucs.html>. Acesso em: 21 abril 2023.

CEMPEL, M.; NIKEL, G. Nickel: A Review of Its Sources and Environmental Toxicology. **Polish Journal of Environmental Studies**, 15 (3), 375–382, 2006.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ – BATALHA (CBH-TB). Plano da Bacia Hidrográfica. Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI 16. **Estado de São Paulo, CBH-TB**, 2008. Disponível em: <https://www.comitetb.sp.gov.br/documentos/>. Acesso em: 21 abril 2023.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ – BATALHA (CBH-TB). Plano da Bacia Hidrográfica. Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI 16. **Estado de São Paulo, CBH-TB**, 2016. Disponível em: <https://www.comitetb.sp.gov.br/documentos/>. Acesso em: 21 abril 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Roteiro para Elaboração de Estudo Ambiental para Implantação de aterros em vala com capacidade de projeto de até 10 t/dia. São Paulo, **CETESB**. 2018a. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/licenciamentoambiental/wp-content/uploads/sites/32/2014/11/roteiro\\_estudo\\_ambiental\\_10.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/licenciamentoambiental/wp-content/uploads/sites/32/2014/11/roteiro_estudo_ambiental_10.pdf). Acesso em: 21 abril 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Índices da Qualidade de Aterros de Resíduos. São Paulo, **CETESB**. 2018b. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2018/09/Relatorio-PPA-1- semestre-2018.pdf>. Acesso em 24 abril 2023.

FONSECA, N. F. S.; MANZATO, G. G.; SILVA, A. N. R.; BEZERRA, B. S. Percepção de especialistas quanto à qualidade das infraestruturas cicloviárias no Brasil por meio de avaliação multicritério estruturada. In: 8º Congresso Luso-Brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável. Pluris 2018. **Anais [...]**. Coimbra, Portugal.

GUARNIERI, P. **Decision Models in Engineering and Management**. New York: Springer. 2015

HUANG, I. B.; KEISLER, J. & LINKOV, I. Multi-Criteria Decision Analysis in Environmental Sciences: Ten Years of Applications and Trends. **Science of the Total Environment**, 409 (19), p. 3578-3594, 2011.

INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IDESP). Solos do Estado de São Paulo - Ano: 1999 - Escala: 1:500.000 - Formato: Vetor - Abrangência: Estado de São Paulo. **IDESP**. 2018. Disponível em: <http://www.metadados.idesp.sp.gov.br/catalogo/srv/por/catalog.search#/metadata/707d0ada-4f89-42a8-9a2d-79dfab8718aa>. Acesso em: 22 de abril de 2023.

IHEDIOHA, J. N.; UKOHA, P. O.; EKERE, N. R. Ecological and Human Health Risk Assessment of Heavy Metal Contamination in Soil of a Municipal Solid Waste Dump in Uyo, Nigeria. **Environmental Geochemistry and Health**, 39 (3), p. 497-515, 2017.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC). Solos do Estado de São Paulo. **IAC**. 2015. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/solosp>. Acesso em: 22 abril 2023.

INSTITUTO FLORESTAL (IF). Mapa Pedológico do Estado de São Paulo. **IF**. 2018. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutoflorestal?s=Mapa+Pedol%C3%B3gico+do+Estado+de+S%C3%A3o+Paulo>. Acesso em: 22 abril 2023.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (IGC). Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – UGRHI. Escala 1:1.000.000. São Paulo: **IGC**. 2011. Disponível em: <http://www.igc.sp.gov.br/produtos/ugrhi.html>. Acesso em 22 abril 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Excedente Hídrico para Aterros Sanitários. **INMET**. 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/mma>. Acesso em 22 abril 2023.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Mapa Geológico do Estado de São Paulo. São Paulo: Escala 1:500.000, Volumes I e II. São Paulo-SP. **IPT**. Publicação 1184. IPT. 1981.

IWAI, C. K. **Avaliação da Qualidade das Águas Subterrâneas e do Solo em Áreas de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos em Municípios de Pequeno Porte: Aterro Sanitário em Valas**. Tese (Doutorado na Faculdade de Saúde Pública) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

KUMAR, S., HASSAN, M.I. Selection of a Landfill Site for Solid Waste Management: An Application of AHP and Spatial Analyst Tool. **Journal of the Indian Society Remote Sensing**, n41, p. 45–56, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12524-011-0161-8> . Acesso em 23 abril 2023.

LUCKEY, T. D.; VENUGOPAL, B. **Metal Toxicity in Mammals: Physiologic and Chemical Basis for Metal Toxicity**. New York: Plenum Press, 1977.

MENDONÇA, J. L. G.; GUTIERRE, T. M. C. O Potencial Hidrogeológico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. **Revista Águas Subterrâneas**. São Paulo, 12p., 2000. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24338/16342> . Acesso em 23 abril 2023.

MONTERO, R. C.; PEIXOTO, A. S. P. Vulnerabilidade e Perigo de Contaminação dos Aquíferos no Alto Aguapé e Alto Peixe, SP. **Revista Ciência & Engenharia**. Uberlândia, 22 (1), p. 115 – 124. 2013.

NASCIMENTO, V. F.; SOBRAL, A. C.; ANDRADE, P. R.; OMETTO, J. P. H. B; YESILLER, N. Modeling Environmental Susceptibility of Municipal Solid Waste Disposal Sites: A Case Study in São Paulo State, Brazil. **Journal of Geographic Information System**, 9 (1), p. 8-33, 2017.

NASCIMENTO, V. F. **Proposta para Indicações de Áreas para a Implantação de Aterro Sanitário no Município de Bauru-SP**, utilizando Análise Multi-Critério de Decisão e Técnicas de Geoprocessamento. 2012. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Bauru. 2012.

ODAI, S. N.; MENSAH, E.; SIPITEY, D.; SHOJI, R; AWUAH, E. Heavy Metals Uptake By Vegetables Cultivated On Urban Waste Dumpsites: Case Study Of Kumasi, Ghana. **Research Journal Of Environmental Toxicology**, v. 2, n. 2, p. 92-99, 2008. Disponível em: <https://scialert.net/fulltext/?doi=rjet.2008.92.99> . Acesso em 23 abril 2023.

RAHMAN, M. M., SULTANA, K. R., & HOQUE, M. A. Suitable sites for urban solid waste disposal using GIS approach in Khulna city, Bangladesh. **Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences** ,Pakistan, 45(1), p.11-22, 2008. Disponível em: <https://paspk.org/wp-content/uploads/proceedings/45%20No.%201/fa65dcb3proc45-1-2.pdf> . Acesso em 23 abril 2023.

RODRIGUES, G. S. M. **Carta de risco de contaminação de solo e água em função de aterros de resíduos sólidos em valas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Bauru. 2019.

ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. Springer US, 293 p, 1996.

SAMUDING, K.; ABUSTAN, I.; RAHMAN, M. T. A.; ISA, M. H. Distribution of Heavy Metals Profile in Groundwater System at Solid Waste Disposal Site. **European Journal of Science and Research**, n. 37 (1), p. 58-66, 2009.

SHARIFI, M. A.; BOERBOOM, L.; SHAMSUDIN, K. B. E & VEERAMUTHU, L. Spatial multiple criteria decision analysis in integrated planning for public transport and land use development study in Klang Valley, Malaysia. *In*: ISPRS Technical Commission II Symposium. Vienna, Austria. **Anais [...]**. Vienna, Austria 2006. p.12-14.

TALEAI, M.; SHARIFI, A.; SLIUZAS, R. E & MESGARI, M. Evaluating the compatibility of multi-functional and intensive urban land uses. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, n. 9 (4), p. 375-391. 2007.

TEIXEIRA, E. N & PANSANI, A. Avaliação do Potencial Poluidor/Contaminador de Aterros em Vala (Aterros Manuais). *In*: XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria Y Ambiental, AIDIS. Cancún, México. **Anais [...]**. Cancún, México 2002.