

ESTUDO DO USO E OCUPAÇÃO DE SOLO EM ÁREAS CEMITERIAIS E SUA INFLUÊNCIA NA CONTAMINAÇÃO DE SOLOS POR METAIS PESADOS

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.16.25.V-022>

Maria Rayanne Oliveira de Araújo Gonçalves (*), Silvio Romero de Melo Ferreira, Rejane Nascentes, Caroline Miranda Biondi, Douglas dos Santos Nazário

* Prefeitura Municipal de Macaparana - PE, rayannearaujoengenharia@gmail.com.

RESUMO

A implementação e operação de cemitérios em zonas urbanas são vistas como um sistema complexo, sua relação com o transporte de contaminantes em solos que pode acarretar impactos ambientais que vão além dos limites da área cemiterial e tem requerido atenção especial de órgãos públicos e pesquisadores. No Brasil, há cemitérios centenários em operação até hoje, o que requer um estudo de transporte de contaminantes nesses locais a fim de difundir e entender melhor os mecanismos de transporte e avaliar uma possível contaminação. Este trabalho tem o objetivo de destacar a relação entre uso e ocupação do solo e a contaminação de solos, oriundos das atividades cemiteriais, em profundidades distintas, no terreno do cemitério. As análises multivariadas desta pesquisa sinalizam a presença dos metais Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn com maior incidência na profundidade entre 0 e 0,5 m, sendo o Cr, metal pesado altamente tóxico, o elemento que apresentou maior número de amostras com concentrações acima dos Valores de Referência (75 mg/kg) para metais no solo, preconizado pela Resolução nº 420 / 2009 do CONAMA no Brasil, apresentando teor máximo de 318,1 mg/kg na camada de sepultamentos.

PALAVRAS-CHAVE: Cemitério, contaminação, solos, necrochorume, geotecnia ambiental.

INTRODUÇÃO

O progresso sustentável ganhou pauta na Conferência de Estocolmo em 1987, com o então Relatório de Brundtland intitulado “Nosso Futuro Comum”. O documento enfatizava que as ações antrópicas devem ser consideradas em um cenário onde o desenvolvimento tecnológico e social esteja em harmonia com o meio ambiente. A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento destaca ainda que processo de exploração dos recursos naturais deve vir atrelado ao conhecimento de que vivemos em um ecossistema interdependente e frágil e que as práticas de desenvolvimento sustentável devem ser realizadas em todo o mundo, a fim de evitar o avanço do desequilíbrio ambiental (CMMAD, 1988).

O estudo de contaminantes em meios porosos inicia-se com o conhecimento dos fenômenos de transporte, incluindo três tópicos que se interrelacionam: transferência de calor, dinâmica dos fluidos e transferência de massa (Bird et al., 2001). A mecânica dos fluidos tem por objetivo a análise dos fluidos que estão em movimento ou em repouso, investigando seu comportamento e, quando existentes, as forças responsáveis por seu movimento. Na engenharia, por exemplo, os fenômenos de transporte se tornam fundamentais para o estudo da difusão de poluentes no solo, água e ar (Belisio, 2017).

O transporte de contaminantes em meios porosos já se tornou um problema de escala global e ascendente, o solo poluído pode propagar sua contaminação às águas subterrâneas. Em regiões em que há a captação desse recurso pela população para uso diário são necessárias análises que atestem sua qualidade para consumo humano. Em relação aos contaminantes, preocupa a existência de metais pesados, que em concentrações maiores que os níveis de tolerância ou acumuladas ao longo do tempo nos seres vivos ou mesmo na biota, podem causar efeitos negativos no ecossistema, como distúrbios no metabolismo dos seres vivos (Gotti e Souza, 2017).

Os cemitérios estão entre as obras de engenharia que, se não forem administrados do modo correto, podem se tornar uma área de alto risco ambiental, por serem fontes de contaminantes que poderão percolar no solo. Apesar disso, os estudos de impactos ambientais oriundos da atividade cemiterial ainda é uma área pouco explorada (Fernandes, 2020). O repentino aumento no número de sepultamentos em cemitérios em todo o mundo, especialmente no Brasil, devido a Covid-19, atraiu pesquisas com a finalidade de compreender os mecanismos de contaminação, os impactos ambientais e a propagação de elementos com potencial toxicidade para plantas, humanos e outras espécies de animais como o necrochorume.

A contaminação por necrochorume pode causar sérios problemas sanitários devido a carga de patógenos que pode conter. Portanto, conhecer os principais poluentes presentes em solos de cemitérios e sua relação com o uso e ocupação do solo, além do monitoramento ambiental, permite a gestão de medidas mitigadoras para a contaminação do solo e de águas subterrâneas e constituem a principal motivação para o desenvolvimento deste trabalho.

OBJETIVO

O presente artigo tem por objetivo analisar a influência do uso e ocupação do solo, na concentração de metais pesados ao longo de perfis de solo de 0,0 a 2,0 metros de profundidade. O objeto de estudo deste trabalho foram os solos coletados em um cemitério urbano da capital Pernambucana em período de pandemia do coronavírus SARS-CoV-2 causador da doença Covid-19, as inspeções in loco delimitaram um espaço de amostragem que caracterizou os diversos usos e ocupações do solo no cemitério.

MATERIAL E MÉTODOS

As atividades apontadas no fluxograma da pesquisa fornecem um detalhamento simplificado das metodologias de ensaios laboratoriais realizados para obtenção dos parâmetros de análise e os materiais utilizados na pesquisa.

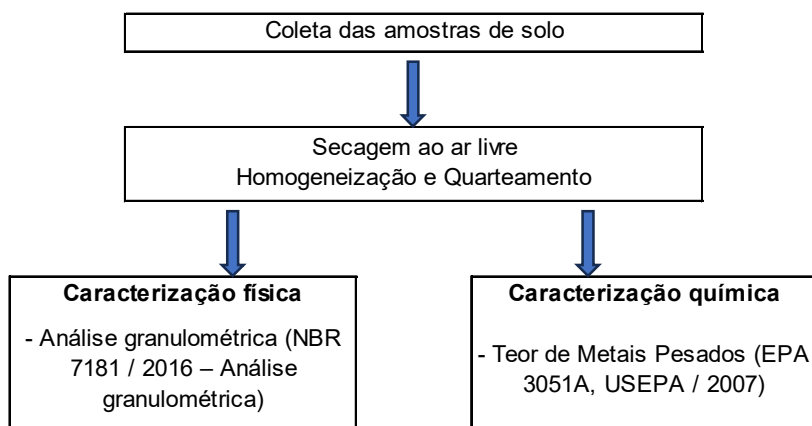


Figura 1: Fluxograma de Pesquisa. Fonte: Autores, 2025.

Caracterização do uso e ocupação do solo

Na Figura 2 é apresentada a visualização espacial do cemitério e a delimitação dos pontos para coleta do solo no município de Recife - PE. A região onde localiza-se o cemitério apresenta um terreno nivelado, com cotas de declividade menores que 1 metro, este fator é determinado pela constante movimentação de terra ocasionada pela necessidade de reposição de materiais escavados, o que favorece à terraplenagem do terreno.

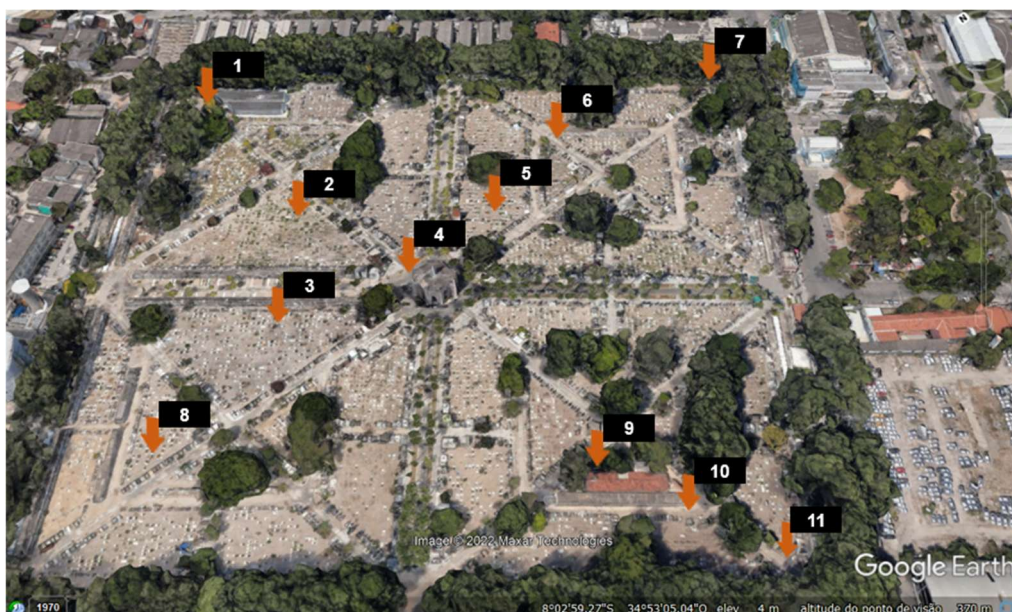


Figura 2: Localização das quadras e pontos de coletas de solo e água. Fonte: Autores, 2025.

A espacialização das coletas de amostras de solos e suas análises foram divididas de acordo com seu uso e ocupação (Tabela 1) em: Necrosols de sepultamento (com influência direta entre o perfil de solo e a inumação) e os solos de

cemitérios não perturbados, impactados indiretamente pela ação de sepultamentos, que não foram expostos à ação antrópica de enterros.

Tabela 1. Pontos de coleta e classificação dos solos por área. Fonte: Autores, 2025.

Ponto	Área	Ponto	Área	Ponto	Área
P1	V _{eg}	P5	S _{rec}	P9	A _{dm}
P2	S _{rec}	P6	S _{ant}	P10	A _{dm}
P3	S _{ant}	P7	V _{eg}	P11	V _{eg}
P4	P _r	P8	S _{rec}		

Legenda: Veg: Área de vegetação; Srec: Área de sepultamento recente (menos de 3 meses); Sant: Área de sepultamento antigo (mais de 1 ano); Pr: Área de Praça próxima à Capela; Adm: Área administrativa (sala de fiscais, refeitório, banheiros e sala de exumação).

Necrosol

O termo Necrosol (Figura 3) é utilizado como nomenclatura referencial na literatura para solos presentes dentro dos cemitérios. Nesses locais forma-se um tipo específico de solo, as mudanças antropogênicas realizadas durante a atividade de sepultamentos resultam em novas propriedades físicas e químicas nos solos dos cemitérios (Majgier e Rahmonov, 2012).



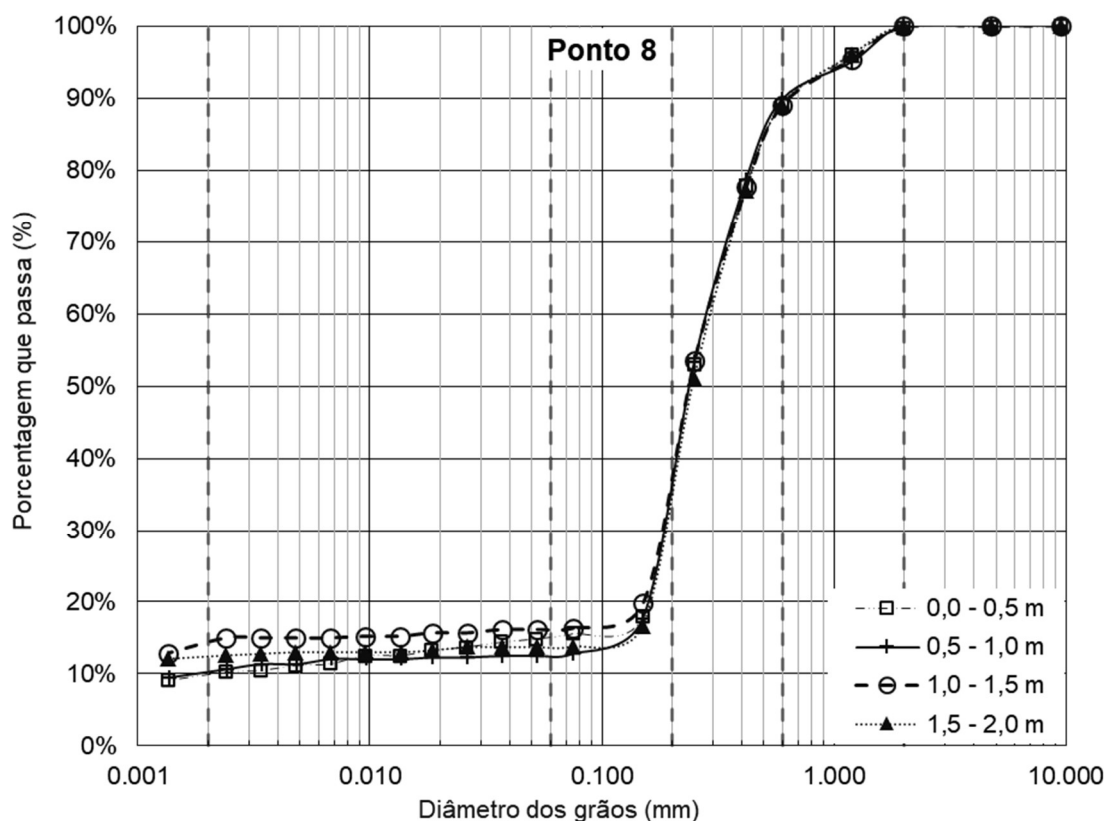
Figura 3: Necrosol de cemitério urbano no Recife - PE, Brasil. Fonte: Autores, 2025.

O necrosol utilizado neste trabalho, é oriundo de um cemitério localizado na cidade do Recife, Pernambuco, Brasil. Inicialmente, para desenvolvimento da pesquisa foram selecionados pontos de coleta (Figura 2) que contemplassem o delineamento do problema, de modo a verificar a partir de análises qualitativas e quantitativas, a relação entre a presença de contaminantes e a área em que se localiza, buscando identificar condicionantes para seus processos de transporte. Os locais de coleta foram espaçados entre áreas com sepultamentos verticais (gavetas), áreas de tumulação e covas – rasas, áreas administrativas onde não há sepultamentos e áreas com vegetações intensas e de grande porte. Além disso, foram diferenciadas coletas de solo em locais que receberam óbitos ocasionados pela Covid-19 e solos sem óbitos de Covid-19.

RESULTADOS

Todas as amostras de solos ensaiados foram classificadas a partir da Classificação SUCS como: Areia siltosa (SM), a porcentagem de areia na composição dos solos foi maior que 60%. Os resultados dos ensaios de granulometria para as amostras P8 em todas as profundidades, são apresentados a seguir.

Gráfico 1 - Composição granulométrica, ponto P8.



Através de leitura por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), os resultados obtidos das concentrações dos metais foram comparados aos Valores Orientadores de Prevenção para solos preconizado pela Resolução nº 420 / 2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama, 2009) e Valores Orientadores de Referência de Qualidade adotados pela Cetesb (2005).

As concentrações dos metais pesados Cd, Cu, Cr, Pb, Ni e Zn são apresentadas na Tabela 2, com destaque para os resultados com concentrações acima dos valores de referência e qualidade (Tabela 3).

Tabela 2. Concentração média de metais pesados no solo por camada (mg/kg). Fonte: Autores, 2025.

PROFUNDIDADE (m)	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
0,0 - 0,5	0,10	172,00	17,68	8,34	15,84	37,46
0,5 - 1,0	0,07	161,73	23,51	8,66	14,05	30,36
1,0 - 1,5	0,02	160,46	10,21	8,66	7,63	16,08
1,5 - 2,0	0,02	148,17	8,65	7,97	17,63	15,80

Tabela 3. Valores de Orientadores para metais pesados no solo. Fonte: Conama, 2009; Cetesb (2005).

Metal	Valor de Prevenção - Conama (mg.kg ⁻¹)	Cr Valor de Referência de Qualidade - Cetesb (mg.kg ⁻¹)
Cádmio (Cd)	1,3	< 0,5
Chumbo (Pb)	72	17
Cobre (Cu)	60	35
Cromo (Cr)	75	40
Níquel (Ni)	30	13
Zinco (Zn)	300	60

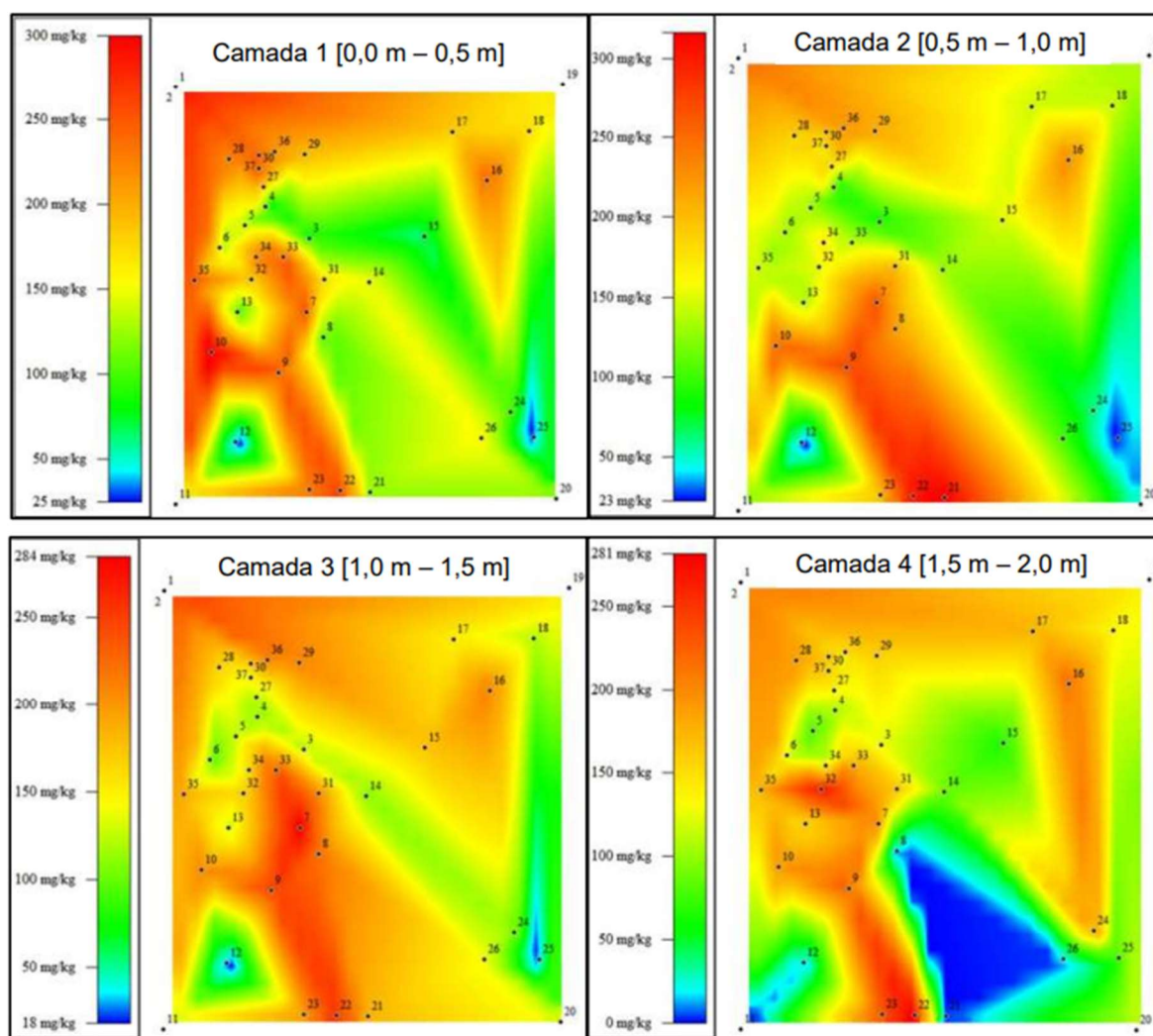


Figura 4: Espacialização da concentração de cromo na área de cemitério urbano no Recife - PE, Brasil. Fonte: Autores, 2025.

A Figura 4 apresenta as concentrações de Cromo (Cr) encontradas nos solos do cemitério municipal estavam acima dos Valores de Prevenção preconizado pelo Conama de 75 mg.kg^{-1} e de Referência de Qualidade recomendado pela Cetesb de 40 mg.kg^{-1} , as amostras analisadas indicam contaminação em zonas administrativas e áreas de sepultamento em todas as camadas de estudo, à exceção do ponto P8 (mínimo de $5,4$ e máximo de $10,6 \text{ mg.kg}^{-1}$) e poço P10 (mínimo de $3,5$ e máximo $14,8 \text{ mg.kg}^{-1}$). Observou-se que o ponto P3 esteve localizado na Quadra 39 próxima do local de sepultamentos de mortes por covid-19 em estrutura vertical (não sepultados diretamente em solo), a Quadra 39 apresentou ponto de coleta com a maior concentração de cromo de todo o cemitério ($311,0 \text{ mg.kg}^{-1}$). Os maiores teores de metais pesados foram observados nas amostras coletadas na camada 1 (0,0 a 0,5 m) e 2 (0,5 a 1,0 m), possivelmente pelo maior contato dos solos com os jazigos em superfície, caixões e matéria orgânica em decomposição, oriundos do sepultamento.

Nos solos estudados, os teores de metais pesados (Cd, Ni e Zn) ficaram abaixo dos valores de prevenção (VP) em todas as análises realizadas no solo do cemitério, o ponto P9 localizado na zona administrativa apresentou altas concentrações de metais, sendo o cobre com contaminação em todo o perfil de coleta (0,0 a 2,0 m) e chumbo com concentrações de até 80 mg/kg na camada de 0,5 a 1,0m de profundidade, o que pode afetar negativamente a qualidade do solo, bem como a qualidade da água, visto que há presença de cisterna de abastecimento no local do poço de inspeção. Outro fator relevante é a presença do metal Cr em concentrações acima do VP recomendado pelo Conama nº 420/2009 em todas as amostras de solos analisadas e, portanto, devido à presença de um solo arenoso como o solo cemiterial estudado, a mobilidade do cromo Cr^{3+} se torna inversamente proporcional à porcentagem de argila do solo, uma vez que o metal se liga fortemente a sítios negativos que a argila e matéria-orgânica favorecem.

Observa-se que as amostras coletadas na camada profunda (1,5 a 2,0 m) da área administrativa, apresentam as menores concentrações dos elementos contaminantes. Esse efeito pode ser explicado devido a ausência de sepultamentos nessa região, o fato de camadas mais superficiais apresentarem algum nível de contaminação, pode estar relacionado ao

movimento de águas superficiais de chuvas e falta de drenagem no local, favorecendo a mobilidade de metais nessas profundidades.

CONCLUSÕES

Neste artigo foi possível identificar que os maiores teores de metais pesados foram obtidos nas amostras coletadas na camada de superfície, possivelmente pela maior proximidade com os jazigos e mausoléus construídos acima do solo. No cemitério, o tipo de sepultamento e profundidade influenciou o potencial de poluição do solo por metais pesados, áreas próximas aos túmulos apresentaram maior risco de poluição ambiental, principalmente por cromo. As concentrações de metais foram maiores para os elementos cromo, cobre e chumbo, nessa ordem. Problemas de toxicidade futuros podem estar presentes nesse local.

A composição dos grãos e suas dimensões afetam parâmetros químicos e físico-químicos do solo no cemitério urbano do Recife, favorece maior permeabilidade e lixiviação de materiais. Os solos do cemitério apresentaram predomínio de quartzo, indicando material fortemente intemperizado.

Os maiores teores desses contaminantes foram localizados nas camadas superficiais do solo, refletindo a influência direta dos sepultamentos realizados em covas rasas. Em decorrência do aumento expressivo de sepultamentos em cova-rasa durante a pandemia de COVID-19, os impactos ambientais são maiores em cemitérios que apresentam esse modo de inumação, especialmente quando não oferecem tratamento do necrochorume no local.

A gestão ambiental correta de infraestruturas cemiteriais, deve reduzir os impactos do necrochorume nos solos e águas subterrâneas oriundos dos sepultamentos tradicionais. Ações de monitoramento podem identificar a progressão ou redução nas concentrações de metais nos solos. Relatórios técnicos periódicos podem orientar medidas corretivas e preventivas para a área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016b. 8 p.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: solo - análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016c. 12 p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6458: grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2016d. 10 p.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: solo - determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016e. 5 p.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: solo - determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016f. 3 p.
6. ASTM, 2006. Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes Unified Soil Classification System. ASTM D 2487-06. West Conshohocken, PA: ASTM International. 2006.
7. Bird, R. B.; Warren, E. S.; Edwin, N. L., 2001. Transport Phenomena, 2nd Edition – Wiley, 2001.
8. Belisio, A. S., 2017. Fenômenos de transporte. Livro. Rio de Janeiro: SESES, 2017.
9. CMMAD, 1988. Nosso futuro comum. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988.
10. BRASIL, 2005. Resolução Conama nº 357 de 18 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Diário Oficial, Brasília, 18 de março de 2005.
11. CMMAD, 1988. Nosso futuro comum. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988.
12. Costa, A., 2011. Livro Didático - Introdução a Gestão Ambiental, 91 p. Editoração: Núcleo de Educação a Distância. Governador Valadares – MG. 2011.
13. Fernandes, M. M. Necroleachate and Public Health. Acta Scientific Microbiology, 4.1, 2021: 77-89. 78 p.
14. Gotti, I. A.; SOUZA, A. C. O. DE., 2017. Gestão ambiental. Livro. 2017. 208 p.
15. Majgier, L.; Rahmonov, O.; Bednarek, R., 2012. Selected Chemical properties of Necrosols from the abandoned cemeteries Słabowo and Szymonka. Bulletin of Geography: Physical Geography Series, Uniwersytet Mikołaja Kopernika Wydział Nauk o Ziemi, vol. 5, no. 1, 2012, pp. 43-55, DOI:10.2478/v10250-012-0003-8.