

III-005 - SELEÇÃO DE ÁREAS PARA A INSTALAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA REGIÃO IMEDIATA DE ITAPORANGA/PB

Maria Aliny Souza Silva⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Mestranda em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Elba Magda de Souza Vieira

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG.

Claudio Manoel de Faria Moreira

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia General Roberto Lisboa. Pós-graduado em Engenharia de Saúde Pública pela FIOCRUZ - Escola Nacional de Saúde Pública. Pós-graduado em Engenharia Sanitária Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Aline Carolina da Silva

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Sergipe (IFS). Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Amapá (Unifap).

Maria Josicleide Felipe Guedes

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG. Doutora em Recursos Naturais pela UFCG. Professora Adjunta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Centro de Engenharias, Departamento de Engenharia e Ciências Ambientais.

Endereço⁽¹⁾: R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário – Campina Grande - PB - CEP: 58429-900 - Brasil - e-mail: maria.aliny18@gmail.com

RESUMO

A escolha do melhor local para a implantação de um aterro sanitário é uma decisão difícil de ser tomada devido à grande variedade de fatores envolvidos. Este trabalho teve como objetivo utilizar o sistema de informação geográfica (SIG) e a análise multicritério para identificar as áreas aptas para a instalação de aterro sanitário na região imediata de Itaporanga/PB. Foram analisadas as variáveis de distância de corpos d'água, rodovias, núcleos populacionais, declividade e tipo de solo, com o auxílio do *software* QGIS 3.22, levando em consideração as restrições da NBR 15.849/2010 e da Deliberação Normativa COPAM nº 118. A análise multicritério foi utilizada para definir a importância de cada variável na análise. Como resultado, foi identificado que 4% da área total do município foi classificada como ótima para a instalação de aterros sanitários. As áreas de classificação boa correspondem a 17%, regular a 26%, ruim a 18% e 35% são áreas impróprias.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos, Disposição Final, SIG Livre e Gratuito, AHP.

INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos é uma questão importante da atualidade. O crescimento populacional e econômico é acompanhado por um aumento na geração de resíduos sólidos. Apesar de serem priorizados os processos de redução, reutilização e reciclagem na Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), a disposição em aterros sanitários ainda é o método mais prevalente para disposição final adequada de resíduos (ALKARADAGHI et al., 2020).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo utilizar o sistema de informação geográfica (SIG) e a análise multicritério para identificar as áreas aptas para a instalação de aterro sanitário na região imediata de Itaporanga/PB.

A área de estudo corresponde a região geográfica imediata de Itaporanga, que está inserida na região intermediária de Patos, no estado da Paraíba, Brasil (Figura 1). É composta por 15 municípios, com uma população estimada de 123.709 habitantes e uma área total de 4.510.236 km² (IBGE, 2021; 2017).

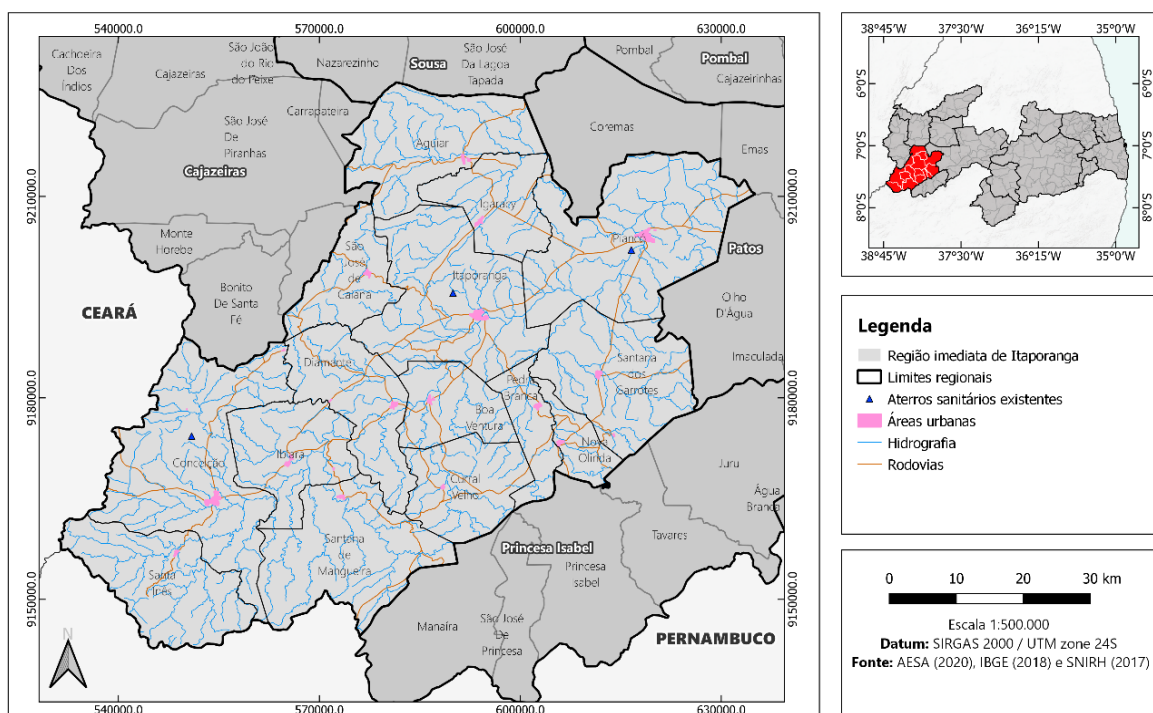


Figura 1: Área de abrangência da pesquisa

Avaliação dos aterros sanitários existentes

Existem atualmente 3 aterros sanitários na região, localizados nos municípios de Conceição/PB, Itaporanga/PB e Piancó/PB. A avaliação da situação ambiental atual dos aterros relacionadas a infraestrutura implantada e características operacionais foi realizada através de visitas técnicas e de coleta de informações do relatório de auditoria operacional em saneamento básico – resíduos sólidos (TCE-PB, 2021). As visitas aos aterros sanitários foram realizadas em junho de 2021, quando da elaboração dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) dos municípios participantes do TED FUNASA/UFPA nº 003/2019.

Seleção de áreas para instalação de aterro sanitário

As características analisadas para a seleção das áreas foram consideradas tomando como base as indicações da NBR 15.849/2010 (ABNT, 2010), que especifica as diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento de aterros sanitários de pequeno porte e da Deliberação Normativa COPAM nº 118 (MINAS GERAIS, 2008). Os critérios selecionados estão elencados na Tabela 1.

Tabela 1: Critérios analisados para a seleção de áreas adequadas para a instalação de aterro sanitário

Critério	Indicação da norma
Hidrografia	Distância mínima de 200 m
Declividade	>1% e < 30%
Rodovias	Distância mínima de 100 m
Núcleos populacionais	Distância mínima de 500 m
Tipo de Solo	Solos poucos permeáveis (argilosos, argilo-arenosos, argilo-siltosos)

Salienta-se que foi verificada a inexistência de áreas de proteção ambiental e aeroportos na região, não sendo, portanto, um fator impeditivo para a instalação de aterro sanitário, logo não foram considerados na análise.

Foi realizado o download de *shapefiles* e *rasters* dos critérios avaliados de bases de dados oficiais, apresentadas na Tabela 2. Com o auxílio do *software* QGIS 3.22, as camadas de cada critério foram recortadas pela área de estudo e reclassificadas em uma escala de 0 a 5, baseado nas indicações da Tabela 1.

Tabela 2: Bases de dados e respectivas fontes dos critérios analisados

Critério	Base de dados	Fonte
Hidrografia	Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 (<i>shapefile</i>)	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH (2017)
Declividade	Dados topográficos das Folhas 06S39 e 07S39 do projeto TOPODATA (<i>raster</i>)	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2011)
Rodovias	Rodovias (DATUM SIRGAS 2000) (<i>shapefile</i>)	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA (2020)
Núcleos populacionais	Áreas urbanas do Brasil (<i>shapefile</i>)	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (2015)
Tipo de Solo	Mapa de solos do Brasil (<i>shapefile</i>)	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (2020)

A análise multicritério foi utilizada para definir o grau de importância relativo de cada critério, através da ferramenta *on-line* AHP-OS (GOPEL, 2018). O método AHP transforma as comparações qualitativas em análises quantitativas, atribuindo grau de importância para diferentes critérios de maneira concomitante, permitindo uma tomada de decisão baseada em dados classificados de acordo com sua ordem de relevância (SAATY, 1990). A Tabela 3 apresenta a escala de Saaty (1990) com os pesos e suas significâncias.

Tabela 3: Valores da escala de Saaty da distribuição dos pesos de julgamento para a tabela de comparação paritária

Grau de importância	Definição
1	Igual importância
3	Importância moderada
5	Forte importância
7	Importância muito forte
9	Extrema importância
2, 4, 6, 8	Valores intermediários

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

De acordo com a avaliação dos autores, foi definida a matriz de comparação paritária referente aos critérios, apresentada na Tabela 4.

Tabela 4: Matriz de comparação paritária dos critérios

	Hidrografia	Tipo de solo	Núcleos populacionais	Declividade	Rodovias
Hidrografia	1	4.00	2.00	4.00	9.00
Tipo de solo	0.25	1	0.33	2.00	7.00
Núcleos populacionais	0.50	3.00	1	6.00	8.00
Declividade	0.25	0.50	0.17	1	4.00
Rodovias	0.11	0.14	0.12	0.25	1

A partir da matriz foram calculados os autovetores, que foram obtidos de modo aproximado através da média aritmética de cada critério, e indicadas sua prioridade global, conforme apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Prioridade de cada critério

Critério	Prioridade
Hidrografia	0,425
Declividade	0,139
Rodovias	0,323
Núcleos populacionais	0,083
Tipo de solo	0,030

O resultado dos vetores pode ser interpretado como a participação percentual de cada item avaliado, representando sua importância. Para verificação da confiabilidade e consistência dos dados, foi calculada a razão de consistência. Para tal foi necessário primeiro calcular o índice de consistência, através da Equação (1):

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

Onde:

IC: índice de consistência;

λ_{max} : maior autovetor da matriz;

n : número de critérios da matriz.

O cálculo da razão de consistência se deu através da Equação (2):

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$

Onde:

RC: razão de consistência;

IC: índice de consistência;
IR: índice randômico.

O índice randômico é fixo e tem como base o número de critérios avaliados (Tabela 6).

Tabela 6: Valores de IR usados como referência

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1991).

Como regra geral, se o índice de consistência for menor do que 0,10 há consistência para prosseguir com os cálculos. Como o resultado da razão de consistência foi de 0,054, valor menor que 0,10, indica que os julgamentos foram acurados.

Posteriormente foram utilizadas ferramentas de álgebra de mapas, onde as camadas reclassificadas dos 5 critérios foram multiplicadas pelos respectivos pesos (obtidos através da análise multicritério) e somadas. Como resultado obteve-se o mapa de áreas aptas para a instalação de aterro sanitário.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise dos aterros sanitários existentes

A Tabela 7 apresenta a empresa responsável, localização, vida útil e municípios atendidos pelos aterros sanitários existentes na região imediata de Itaporanga/PB.

Tabela 7: Informações acerca dos aterros sanitários da região imediata de Itaporanga/PB

Aterro sanitário	Empresa responsável	Localização	Vida útil	Municípios da região atendidos
Conceição/PB	Ecosolo – Gestão Ambiental de Resíduos SA	7°32'23.85"S 38°33'3.60"O	Não informado	Conceição/PB, Ibiara/PB, Diamante/PB e Santa Inês/PB
Itaporanga/PB	Itaresidue Unidade de Tratamento de Resíduos LTDA-ME	7°21'10.01"S 38° 8'7.15"O	30 anos	Itaporanga/PB, Igaracy/PB, Nova Olinda/PB e Curral Velho/PB
Piancó/PB	EMLURPE - Empresa de Limpeza Urbana LTDA	7°10'52.14"S 37°54'50.35"O	Não informado	Piancó/PB, Aguiar/PB, São José de Cainã/PB, Boa Ventura/PB, Pedra Branca/PB e Santa dos Garrotes/PB

Salienta que dos municípios que compõem a região, somente o município de Santana de Mangueira/PB ainda dispõe seus resíduos em lixão local.

A partir das visitas técnicas realizadas, foi possível averiguar a infraestrutura e condições operacionais dos aterros sanitários. Em relação às condições de infraestrutura foram verificadas deficiências quanto à existência de balança, sinalização interna, cinturão verde, sistema de drenagem de água pluvial e sistema de tratamento de chorume nos três aterros sanitários. Já em relação às condições operacionais foram identificadas a inexistência de planos de monitoramento e segurança dos aterros e a presença de vetores aéreos e animais. Tais indicativos mostram condições insatisfatórias para o recebimento dos resíduos por parte dos aterros sanitários.

Seleção de áreas para a instalação de aterros sanitários

A Figura 2 apresenta as áreas aptas para a instalação de aterro sanitário na região imediata de Itaporanga/PB. Vale ressaltar que os aterros já instalados na área imediata de Itaporanga/PB não se encontram em áreas adequadas para os critérios analisados. O aterro sanitário de Piancó/PB se encontra em uma área imprópria, o

de Itaporanga/PB em uma área ruim e o de Conceição/PB se localiza em uma área regular, de acordo com os critérios considerados nesta pesquisa.

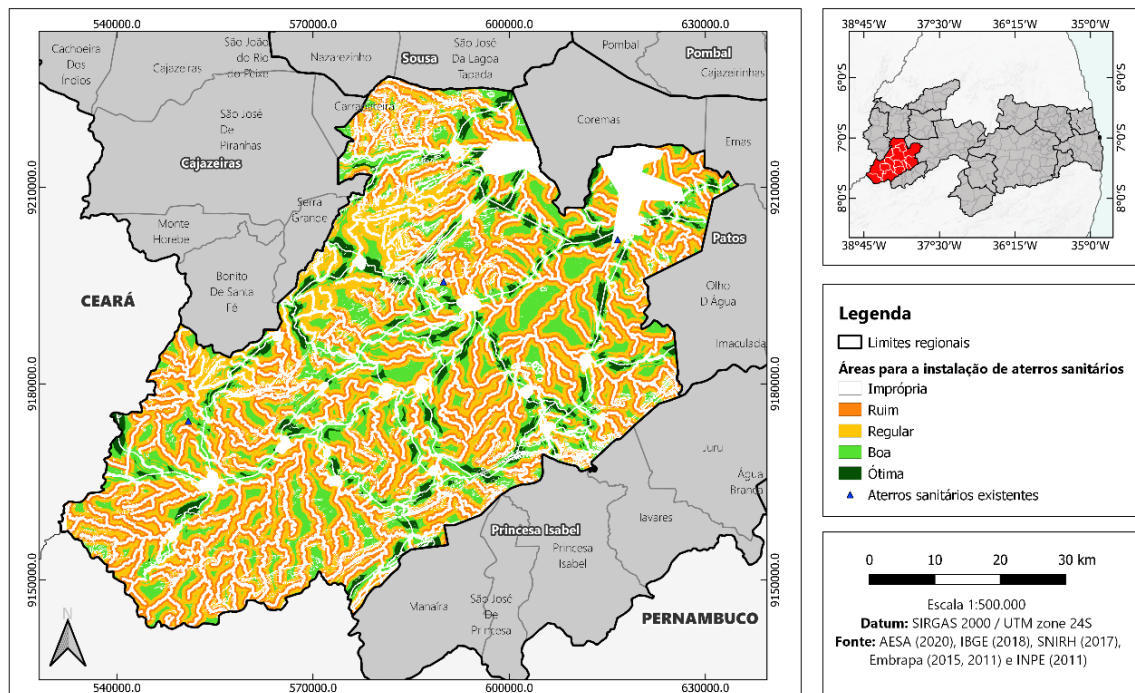


Figura 2: Mapa de aptidão para a instalação de aterro sanitário na região imediata de Itaporanga/PB

Verifica-se que 4% da área total do município foi classificada como ótima para a instalação de aterros sanitários. As áreas de classificação boa correspondem a 17%, regular a 26%, ruim a 18% e 35% são áreas impróprias, como mostrado na Tabela 8.

Tabela 8: Quantitativo de áreas do mapa de aptidão para implantação de aterro sanitário na região de Itaporanga/PB

Zona	Intervalo	Área (km²)	Área (%)
Imprópria	0,0-3,0	1.574,648	35%
Ruim	3,0-3,5	789,980	18%
Regular	3,5-4,0	1.184,527	26%
Boa	4,0-4,5	777,977	17%
Ótima	4,5-5,0	183,104	4%
Total	-	4.510,236	100%

A Figura 3 mostra as áreas com classificação ótima para a instalação de aterro sanitário em um raio de 10 km do centroide da região, de acordo com os critérios considerados nesta pesquisa. A localização central da região (raio de 10 km do centroide) se mostra como uma interessante para diminuir os custos com deslocamento dos resíduos dos municípios até o aterro. A área disponível dentro do raio soma 15,46 km².

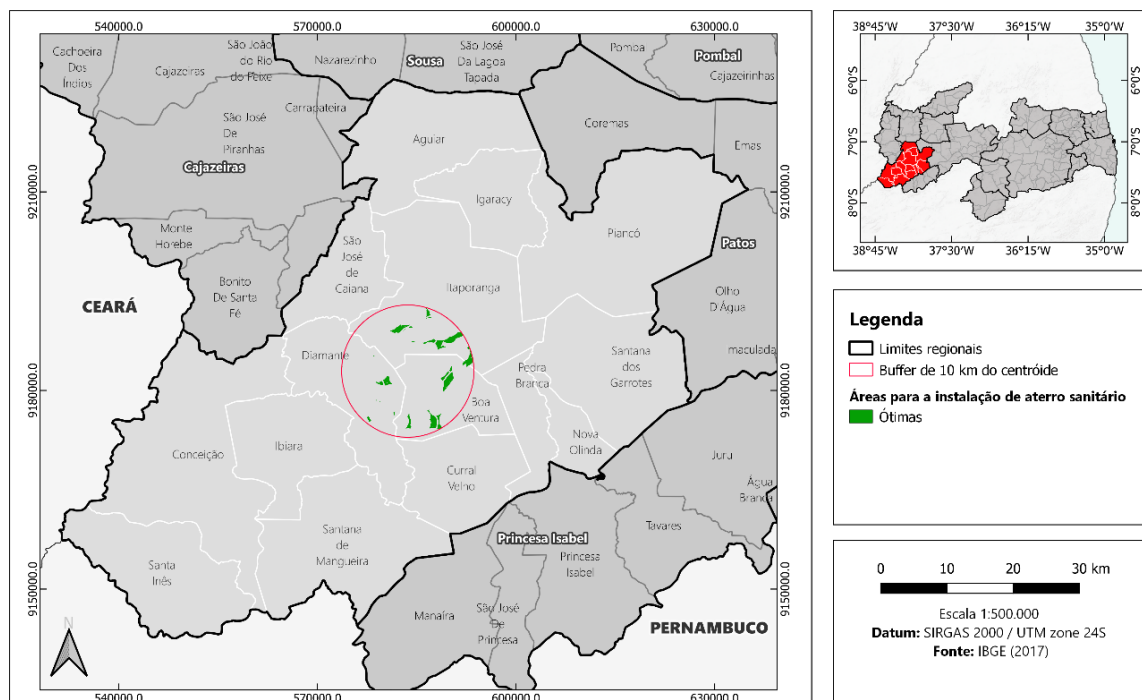


Figura 3: Áreas ótimas para a instalação de aterro sanitário num raio de 10 km do centróide da região de Itaporanga/PB

No âmbito da regionalização, e pensando em soluções consorciadas, a construção de um novo aterro sanitário, em local adequado para atender toda a região de Itaporanga/PB, pode se mostrar como uma solução viável. O estado da Paraíba possui exemplos de soluções consorciadas bem-sucedidas, como é o caso do Consórcio Intermunicipal de Resíduos Sólidos (CONSIRES), que tem como finalidade a gestão associada e gerenciamento de resíduos sólidos, com a implantação do Aterro Sanitário de Guarabira/PB (ECOSAM, 2018), que atende a 23 dos 24 municípios integrantes da região geoadministrativa de Guarabira/PB. O consórcio está de acordo com o definido no Plano de Regionalização da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado da Paraíba (PRGIRS, 2014), apoiado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA).

CONCLUSÕES

Apesar de 93% dos municípios da região imediata de Itaporanga/PB terem iniciado o processo de encerramento dos lixões nos últimos anos, e passado a enviar seus resíduos a aterros sanitários da região, os desafios para a gestão adequada ainda não acabaram, visto que muitos dos aterros sanitários precisam de melhorias para estarem de acordo com as recomendações da legislação e serem uma disposição final de resíduos ambientalmente segura.

O estudo de escolha de áreas para instalação de aterros mostrou que os aterros existentes se encontram em áreas não recomendadas, com os critérios considerados nesta pesquisa. Logo a implantação de um método viável de disposição final, construída de maneira consorciada, pode ser uma solução para a região imediata de Itaporanga/PB.

Salienta-se que esse é apenas um estudo preliminar, e que a escolha de áreas aptas envolve a avaliação de outros critérios, ambientais, sociais e econômicos, que devem ser avaliados em um projeto desta magnitude. Devem ser observados também os instrumentos legais do município em que irá se situar, como a Lei de Parcelamento do Solo, Lei de Uso e Ocupação do Solo, Plano Diretor e Zoneamento Ambiental.

Ainda assim, o geoprocessamento em conjunto com a análise multicritério se mostraram eficientes na escolha preliminar de melhores áreas para implantação de aterros sanitários, o que auxilia a reduzir custos com avaliações *in loco*, já que as áreas já foram pré-selecionadas.

AGRADECIMENTOS

Este estudo contou com o apoio da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em parceria com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), por meio do Termo de Execução Descentralizada (TED), TED FUNASA/UFCG nº 003/2019, firmado para fins de elaboração de 49 Planos Municipais de Saneamento Básico em municípios de pequeno porte no Estado da Paraíba.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.849: Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro, ABNT, 2010.
2. AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Base Cartográfica (shapefile), Rodovias sirgas 2000, 2020.
3. ALKARADAGHI, K.; Ali, S.S.; Al-Ansari, N.; Laue, J. Landfill Site Selection Using GIS and Multi-criteria Decision-making AHP and SAW Methods: A Case Study in Sulaimaniyah Governorate, Iraq. Engineering, v. 12, n. 4, 2020. <https://doi.org/10.4236/eng.2020.124021>
4. BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2007.
5. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2010.
6. CHAMCHALI, M. M.; TAFRESHI, A. M.; TAFRESHI, G. M. Utilizing GIS linked to AHP for landfill site selection in Rudbar County of Iran. GeoJournal, v. 86, p. 163–183, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10708-019-10064-8>
7. DUTRA, D.; SILVA, L.; VIMIEIRO, G.; COELHO, C. Seleção de área para construção de aterro sanitário no município de Esmeraldas – MG, a partir da utilização de ferramentas de geoprocessamento. Rev. Geogr. Acadêmica, v.13, n.2, p. 106-118, Boa Vista, 2019.
8. ECOSAM – Consultoria em Saneamento Ambiental LTDA. Relatório de Impacto Ambiental do Centro de Tratamento e Disposição de Resíduos de Guarabira (CTDR de Guarabira). João Pessoa, 2018.
9. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Base Cartográfica (shapefile), Áreas urbanas BR – 15, 2015.
10. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Base Cartográfica (shapefile), Mapa de solos do Brasil, 2020.
11. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias: 2017. IBGE, Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro: IBGE, 82 p, 2017.
12. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas da população: Tabelas. 2021.
13. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Base Cartográfica (raster), 06S39 & 07S39, 2011.
14. GOPEL, K.D. Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). International Journal of the Analytic Hierarchy Process, Vol. 10, 3 ed., p. 469-487, 2018.
15. GÜLER, D.; YOMRALIOGLU, T. Alternative Suitable Landfill Site Selection Using Analytic Hierarchy Process and Geographic Information Systems: A Case Study in Istanbul. Environ. Earth Sci., n. 678, 2017.
16. MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM). (2008a) Deliberação Normativa COPAM nº 118, 27 de junho de 2008. Altera os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa 52/2001, estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado, e dá outras providências. Belo Horizonte.
17. MOREIRA, R. M.; DALMAS, F. B.; PARANHOS FILHO, A. C. Application of geoprocessing techniques in the selection of suitable areas for landfill implantation in the Portal do Pantanal. Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 13, p. e135101320992, 2021.
18. PANDEY, P.C.; SHARMA, L.K.; NATHAWAT, M.S. Geospatial strategy for sustainable management of municipal solid waste for growing urban environment. Environ. Monit. Assess. 2011, v. 184, p. 2419–2431.
19. Plano de Regionalização da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado da Paraíba – PRGIRS. Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia – SERHMACT. (2014). João Pessoa.

20. POAGUE, K. I. H. M.; SILVA, W. R.; REZENDE, V. M.; PEREIRA, A. P. M.; ÁRABE, M. P. SIG na seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: estudo de caso em Jundiaí SP. Revista DAE, v. 66, p. 59-75, 2018.
21. SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research. North Holland, 48, 9–26, 1990.
22. SAATY, T. L. Método de Análise Hierárquica. São Paulo: Mcgraw-hill, Makron, 1991.
23. SENER, S.; SENER, E.; KARAGÜZEL, R. Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: A case study in Senirkent–Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey. Environ. Monit. Assess., v. 173, p. 533–554, 2010.
24. SNIRH - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Base Cartográfica (shapefile), Base hidrográfica otocodificada multiescalas, 2017.
25. TCE/PB – Tribunal de Contas do Estado da Paraíba. Relatório de Monitoramento – Auditoria Operacional em Saneamento Básico – Resíduos Sólidos Urbanos. Processo TC N° 05095/16.
26. YILDIRIM, V.; MEMISOGLU, T.; BEDIROGLU, S.; COLAK, H. E. Municipal solid waste landfill site selection using Multi-Criteria Decision Making and GIS: case study of Bursa province. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, v. 26 n. 2, p. 107-119, 2018.