

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

MÉTODOS MULTICRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE ÁREAS DESTINADAS A ATERROS SANITÁRIOS

* Andreia Azevedo Abrantes de Oliveira¹
Sabrina da Silva Corrêa¹
Maria Odete Holanda Mariano²
Saulo de Tarso Marques Bezerra³
Isabela Carolina Lopes Coelho¹

MULTICRITERIA METHODS FOR SELECTION OF AREAS INTENDED FOR LANDFILLS

Recibido el 7 de octubre de 2019; Aceptado el 7 de mayo de 2020

Abstract

The Urban Solid Waste Management (USWM) has become a complex issue due to the rapid socio-economic development of several countries and its consequent increase in waste production. The correct management of solid waste presupposes its reduction, as well as its correct final destination, the most conventional being the landfill. Given social, economic, environmental and technical criteria and restrictions for determining the ideal location for the implementation of a landfill, this work carried out fitness assessments in areas of the city of Toritama-PE, Brazil. For that, the Analytical Hierarchy Process (AHP) multicriteria method integrated with a Geographic Information System (GIS) was used to systematize the criteria. The results showed several areas with a high aptitude for landfill allocation in the municipality. Allied to this, the methodology can be easily applied in other municipalities, to obtain a preliminary study of favorable and unfavorable areas to the implantation of landfills. Thus, it can assist in the development of studies with the theme in question and the universalization of the National Solid Waste Policy in Brazil, reducing operating costs and impacts on the environment.

Keywords: AHP, geoprocessing, urban solid waste, area selection.

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Campus do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

² Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

³ Núcleo de Tecnologia, Campus do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

* *Autor correspondente:* Programa da Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco. Av. Marielle Franco, BR-104, Km 59 – Nova Caruaru, Caruaru, Pernambuco. Brasil. Andreiazvdo92@gmail.com

Resumo

O gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) se tornou uma questão complexa devido ao rápido desenvolvimento socioeconômico de diversos países e seu consequente aumento na produção de resíduos. A correta gestão dos resíduos sólidos pressupõe a redução dos mesmos, como também sua correta destinação final, sendo a mais convencional, o aterro sanitário. Diante de critérios e restrições de cunho social, econômico, ambiental e técnico para a determinação do local ideal para a implantação de um aterro sanitário, este trabalho realizou avaliações de aptidão em áreas da cidade de Toritama-PE, Brasil. Para isso, utilizou-se o método multicritério Analytical Hierarchy Process (AHP) integrado a um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para a sistematização dos critérios. Os resultados apontaram diversas áreas com alta aptidão para alocação de aterros sanitários no município. Aliado a isso, a metodologia pode ser facilmente aplicada em outros municípios, a fim de obter um estudo preliminar das áreas favoráveis e desfavoráveis à implantação de aterros sanitários. Dessa forma, pode auxiliar no desenvolvimento de estudos com o tema em questão e na universalização da Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil, reduzindo custos operacionais e impactos ao meio ambiente.

Palavras chave: AHP, geoprocessamento, resíduos sólidos urbanos, seleção de áreas.

Introdução

A gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) tornou-se mais complexa nas últimas décadas. O crescimento populacional associado ao aumento do consumo não sustentável tem aumentado significativamente a geração excessiva dos resíduos sólidos urbanos. Em 2017 foram coletados 196.050 ton./dia de RSU no Brasil e desses, 40.9% tiveram a destinação inadequada (Abrelpe, 2018), o que afeta negativamente a qualidade dos corpos d'água e mananciais, potencializando enchentes, contribuindo para a poluição do ar e proliferação de vetores (Andrade e Barbosa, 2015).

A fim de minimizar a degradação ambiental ocasionada pela alocação equivocada dos RSU, o aterro sanitário é visto como uma alternativa ambientalmente correta e mais viável para a destinação final dos resíduos. Porém, dentre as diversas fases necessárias para seu adequado planejamento e execução, a seleção de áreas adequadas para sua implantação é um problema crítico para os projetistas, pois, integram fatores sociais, ambientais e econômicos (Geneletti, 2010).

De fato, os critérios e/ou fatores a serem considerados no processo de seleção de áreas para implementação de aterros sanitários necessitam serem combinadas entre si. Dentre os critérios sociais, tem-se principalmente a resistência da população, que, muitas vezes, acabam criando impasses com as administrações municipais. Nos aspectos ambientais, diversas pesquisas (Delgado *et al.*, 2008; Gbanie *et al.*, 2012; Korucu *et al.*, 2012; Perpiña *et al.*, 2013; Andrade e Barbosa, 2015; Bohnenberger *et al.*, 2018) destacam pontos relevantes a serem considerados na análise de seleção de áreas para aterros sanitários, como: áreas suscetíveis à erosão,

vulnerabilidade ao lençol freático, cobertura e uso do solo, distância de recursos hídricos, tipo e uso do solo, clima, entre outros.

Aliado aos aspectos supracitados, o econômico é de suma importância na escolha da área para implantação de aterros sanitários. Sendo assim, é importante reduzir, dentro do possível, as distâncias percorridas pelo transporte de RSU, a fim de minimizar custos relativos à combustível, frotas de veículos, número de funcionários e todos os gastos variáveis decorrentes do uso prolongando de transportes, além de diminuir, também, a emissão de gases originados com a queima de combustíveis fósseis.

A seleção das áreas é uma tarefa multidisciplinar, que exige uma análise extensiva de muitos aspectos, onde diante da dificuldade de decisão, definem-se critérios e condições para escolha do melhor local, de forma a causar o menor impacto ambiental. Nesse sentido, de acordo com Moura e Jankowski (2014), os métodos multicritérios podem auxiliar no planejamento do projeto de seleção de áreas, pois integra diversos dados de acordo com os aspectos mais relevantes a serem considerados pelos decisores, atribuindo pesos a esses. Para Almeida (2010), um problema de decisão multicritério consiste em um conjunto de métodos que objetivam elucidar um problema, onde há pelo menos duas alternativas de escolha que são avaliadas por meio de múltiplos critérios conflitantes entre si. No apoio multicritério à decisão, algumas ferramentas são oferecidas ao decisor, tornando-o apto a resolver problemas levando em consideração as mais diversas opiniões, muitas vezes contraditórias.

Diante da complexidade do problema de seleção de áreas e seu caráter geográfico, a problemática requer um método sofisticado de tomada de decisão espacial (Afzali *et al.*, 2014). A base de suporte à decisão espacial são os sistemas de informação geográfica (SIG) (Nyerges e Jankowski, 2010; Uyan, 2013). Os SIG tem procedimentos integrados para elaborar, armazenar, analisar e renderizar informações de acordo com as especificações previamente definidas pelo usuário, possuindo capacidade de gerenciamento de dados que sobrepõem a memória humana, e permitindo também uma exibição gráfica aprimorada, facilitando a visualização (Nyerges e Jankowski, 2010; Afzali *et al.*, 2014; Demesouka *et al.*, 2016).

O uso de SIG integrado ao modelo de decisão por critérios multicritérios serve para aprimorar a função de apoio à decisão (Afzali *et al.*, 2014). Desta forma, para a precisa e eficiente localização de aterros, a combinação de técnicas SIG é a mais pertinente, possuindo várias aplicações na literatura (Aragonés Beltrán *et al.*, 2010; Gbanie *et al.*, 2012; Montañó *et al.*, 2012; Uyan, 2013; Yal e Akgun, 2013; Afzali *et al.*, 2014; Andrade e Barbosa, 2015; Demesouka *et al.*, 2016; Costa *et al.*, 2018).

Esta pesquisa, por sua vez, tem como objetivo a análise, através do uso de ferramentas de apoio à decisão no *software* de geoprocessamento TerrSet 18.31, das áreas do município de Toritama – PE, com o intuito de identificar os locais mais aptos à instalação de um aterro sanitário.

Materiais e métodos

Estudo de caso

A área de estudo é o município de Toritama, situado na mesorregião do Agreste Brasileiro e microrregião do Alto Capibaribe do Estado de Pernambuco, delimitados pela latitude $8^{\circ}0'24''$ sul e a uma longitude $36^{\circ}3'24''$ oeste (Figura 1). Possui área de 25704 km^2 e população de 45.219 habitantes. A bacia hidrográfica da região é constituída apenas pelo rio Capibaribe. O acesso à cidade é feito pela BR-104 e PE-090 (IBGE, 2019 – censo 2016).

A economia da cidade de Toritama tem abarcado grande importância regional na cadeia produtiva de confecções, fazendo parte de um conceituado centro econômico, o Polo de Confecções do Agreste Pernambucano. A cidade se destaca pela produção e comercialização de produtos de vestiário, com destaque para o jeans, onde sua contribuição para o PIB per capita do Estado o coloca em 27° em importância. Diante deste cenário de evidência econômica, as pressões pela destinação final dos seus resíduos foram marcadas pelo fechamento, no ano de 2017, do lixão da cidade, destinando atualmente seus resíduos para o aterro sanitário da cidade de Caruaru - PE, localizada à cerca de 35 km.

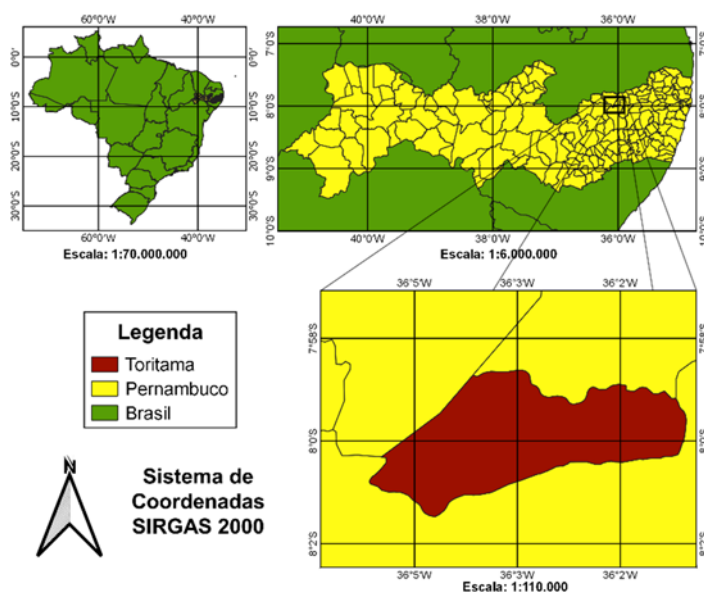


Figura 1. Localização de Toritama - PE, Brasil.

Para a realização do trabalho, um conjunto de técnicas foi adotado para a seleção ideal de áreas destinadas à implantação de aterros sanitários. Foi utilizado o método Analytical Hierarchy Process, Lógica Fuzzy, análise booleana e SIG. Outras matérias e *softwares* foram adotados, dentre os quais:

- *Softwares* de geoprocessamento QGIS 2.18.18 e *TerrSet* 18.31;
- Mapas das unidades de mapeamento da classe de solo da região (Figura 2) e uso e ocupação do solo (Figura 3) fornecidos pela Embrapa;
- Mapas de altitude (Figura 4) através do banco de dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30 metros.
- Mapas das redes viárias (Figura 5) e hidrografia (Figura 6) da região, obtidos através do processo de vetorização no software QGIS 2.18.18. Para isso, foi necessário adicionar no QGIS 2.18.18 imagens do Google com o auxílio da ferramenta QuickMapServices, e adicionar uma camada vetorial. Em uma escala de aproximadamente 1:1.000, iniciou-se a vetorização, selecionando a rede viária e hidrográfica respectivamente da região de estudo.

Todos os mapas utilizados nesse trabalho são compatíveis, uma vez que estão configuradas no mesmo Sistema de Coordenadas Geográficas, SIRGAS 2000, 25S, coordenada equivalente para o território estudado.

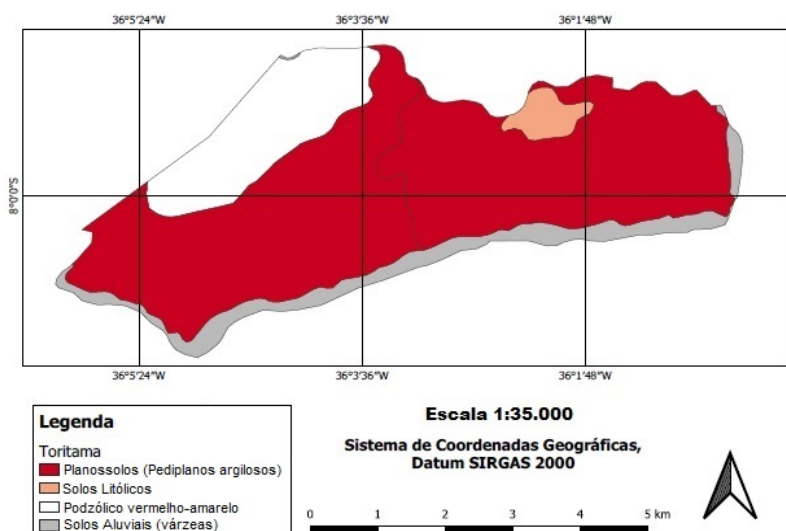


Figura 2. Mapa das unidades de mapeamento da classe solo de Toritama – PE (Embrapa, 2002).

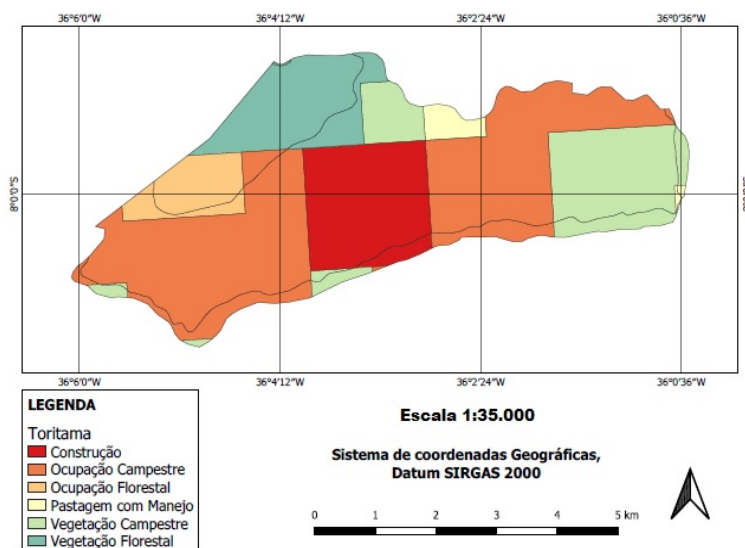


Figura 3. Mapa do uso e ocupação do solo de Toritama – PE (Embrapa, 2002).

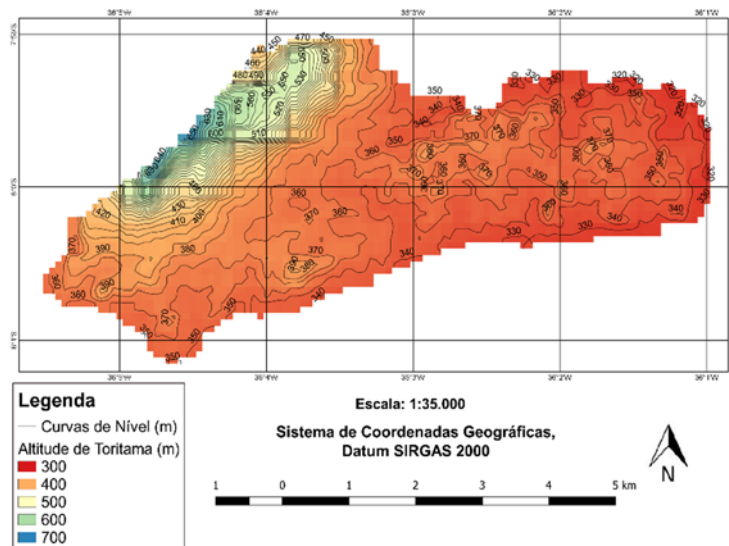


Figura 4. Mapa de altitude de Toritama – PE.

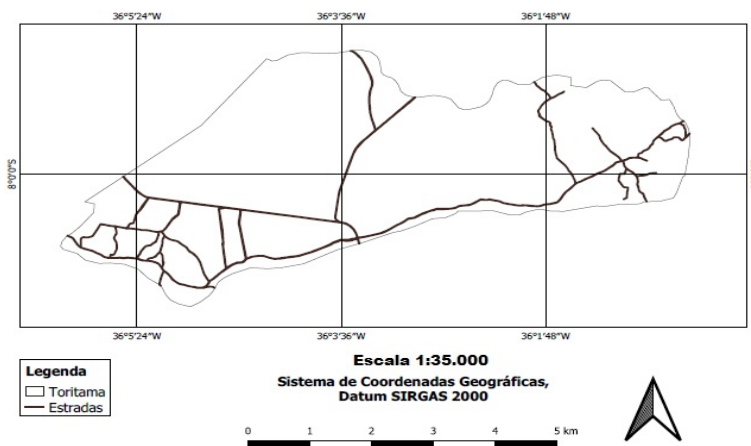


Figura 5. Mapa da rede viária de Toritama – PE.

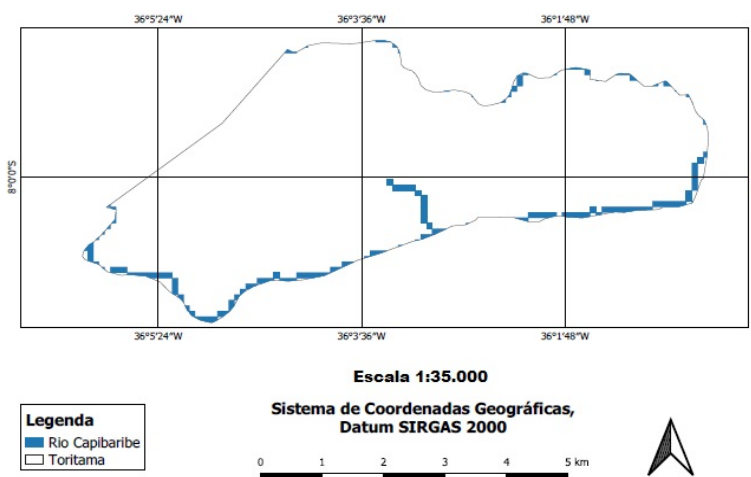


Figura 6. Mapa hidrográfico de Toritama – PE.

Estabelecimento dos critérios/fatores para identificação de áreas

Para a seleção de áreas apropriadas à implantação de aterros sanitários, observa-se uma decisão envolta em variadas alternativas, baseados em critérios restritivos e critérios/fatores escalonados. As restrições são critérios que limitam às análise a regiões geográficas específicas e

são representadas por mapas booleanos (método baseado na lógica binária – base matemática dos SIG convencionais) com níveis de apto/não apto, de forma a diferenciar áreas que podem ser aptas para a implantação de um aterro, daquelas que não são aptas de forma alguma. Por sua vez, os critérios escalonados definem uma medida contínua de aptidão das áreas, realçando ou diminuindo a importância destas (Weber e Hasenack, 2000).

Os critérios selecionados foram os comumente utilizados na seleção de locais para implantação de aterros sanitários, a escolha dos mesmos se deu por meio de revisão de literatura. Desta forma, foram identificados critérios ambientais, técnicos e socioeconômicos que representam a realidade da região, tendo como prioridade um menor investimento, menores riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

Baseando-se, também, em recomendações técnicas da NBR 13896 (ABNT, 1996) e em guias de projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários. Os fatores definem áreas em termos de uma medida contínua de aptidão, e os que são barreiras absolutas tornam-se restrições, limitando ou impedindo o uso da área.

- Critérios Restritivos

- Distância dos recursos hídricos – Estabelece uma distância mínima de 200 metros de qualquer corpo d'água, visando preservar e evitar possível contaminação por efluentes (NBR 13.896/96). Dessa forma, apenas áreas com distâncias de cursos d'água superiores à especificada na norma são consideradas na análise.
- Distância mínima das rodovias – Estabelece uma distância mínima de 200 metros, visando não afetar as áreas de circulação do aterro. Grandes distâncias aumentam os custos de transporte dos resíduos. Portanto, apenas áreas distanciadas de 200 metros são consideradas aptas a implantação do aterro, as demais são excluídas da análise.
- Distância mínima dos núcleos populacionais – Estabelece uma distância mínima de 500 metros dos núcleos populacionais a fim de minimizar os efeitos negativos provenientes do impacto causado pelo aterro junto à população, dentre esses, o mau cheiro e a poeira oriunda do aterro, de acordo com a NBR 13.896/96.
- Declividade – Quanto menor a declividade do terreno, mais apropriada a área é para a construção de aterros, dessa forma é estabelecido um limite de declividade para o terreno, não podendo esse ser superior a 30%, de acordo com a NBR 13.896/96.

- Critérios escalonados (fatores)

- Tipo de solo – É desejado que o solo da área tenha certa impermeabilidade natural, visando reduzir as possibilidades de contaminação do aquífero. As áreas selecionadas devem ter características argilosas e jamais deverão ser arenosas.

- Tipo de uso do solo – As áreas devem ser localizadas em regiões, preferencialmente, agrícolas ou industriais, fora de qualquer Unidade de Conservação Ambiental.
- Declividade – A declividade está diretamente relacionada ao escoamento superficial das águas e do provável escoamento subsuperficial do chorume oriundo do aterro. Desta forma, quanto menor a declividade do terreno, mais apta essa será para a implantação de um aterro sanitário.
- Distância de rodovias – A abertura de um novo acesso à área onera os custos de implantação e operação de um aterro, sendo importante a proximidade da área analisada com uma rodovia, diminuindo assim os custos com transporte. Dessa forma, quanto maior a proximidade da área com uma rodovia, mais apta esta será para a implantação de um aterro.
- Distância de áreas urbanas – Visa à economia no processo de operação do aterro. Quanto mais longe da zona urbana, mais caro é o serviço de transporte.
- Distância dos recursos hídricos – Se refere à proximidade de recursos hídricos, a fim de evitar possíveis contaminações dos mesmos.

Avaliação das variáveis

As variáveis que interferem na decisão de aptidão de uma área para implantação de um aterro sanitário contribuem para a decisão final através de seus pesos, que são diferenciados para cada variável. Os pesos finais são estimados por meio do método *Analytical Hierarchy Process* (AHP), estabelecidos na rotina *Weight* do TerrSet. O AHP determina os pesos finais através da comparação pareada das importâncias relativas das variáveis, diminuindo a subjetividade na decisão (Weber e Hasenack, 2000).

As importâncias relativas das variáveis em questão, os fatores, são elucidadas através do uso de questionários aplicados com especialistas do setor. Suas funções são de avaliar a problemática geral, relacionada às escolhas de áreas para implantação de aterros sanitários, e valorar a importância de cada variável. O questionário foi formulado para que as opiniões dos entrevistados fossem dadas em termos linguísticos, que variam de “igual importância” a “importância absoluta”, cada um destes com seu respectivo valor numérico de 1 a 5. O peso final de cada variável foi estimado através do uso do método AHP aplicado à matriz de comparação pareada da Tabela 1, cujos valores são as médias das importâncias relativas de cada entrevistado.

Para o desenvolvimento de uma matriz de julgamentos genérica A , a quantidade de julgamentos necessários é $n(n-1)/2$, sendo n o número de elementos pertencentes a esta matriz (Freitas e Cordeiro, 2011). A definição desses elementos é dada pela Equação 1. Para obtenção dos pesos, soma-se cada coluna e, então, divide-se cada coluna de entrada pela soma respectiva de cada coluna. A resultante do processo é denominada matriz normalizada. Em seguida, calcula-se o valor médio de cada linha da matriz normalizada para obter o peso de cada critério.

Tabela 1. Comparação pareada das variáveis.

	Tipo de solo	Uso do solo	Declividade	Distância de rodovias	Distância de áreas urbanas	Distância dos recursos hídricos
Tipo de solo	1					
Uso do solo	½	1				
Declividade	2	2	1			
Distância de rodovias	1/3	1/3	1/3	1		
Distância de áreas urbanas	1/2	1/3	1/3	1/2	1	
Distância dos recursos hídricos	1/2	2	½	2	2	1

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & K & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{21}} & 1 & K & a_{2n} \\ M & M & O & M \\ \frac{1}{a_{n1}} & \frac{1}{a_{n2}} & K & 1 \end{bmatrix}, \text{ onde } \begin{cases} a_{ij} > 0 \rightarrow \text{positiva} \\ a_{ij} = 1 \therefore a_{ji} = 1 \\ a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \rightarrow \text{recíproca} \\ a_{ik} = a_{ij} \times a_{jk} \end{cases} \quad \text{Equação (1)}$$

Geração do mapa de aptidão

A seleção de áreas para implantação do aterro sanitário foi introduzida a partir da metodologia da Lógica Fuzzy através do software TerrSet 18.31. A classificação permite gerar resultados de distribuição contínua no espaço, indicando áreas de alta, média ou baixa aptidão à implantação de um aterro sanitário. Para isso, é necessário uniformizar as unidades de todos os mapas, atribuindo-lhes uma escala de aptidão. Nesse trabalho, as variáveis foram escalonadas para o intervalo de um byte (0 a 255), no qual, a atribuição das pontuações seguiu curvas sigmoidais monotônicas crescentes de distribuição entre os limites inferiores (0) e superiores (255) de aptidão, de acordo com a Figura 7.

Os critérios restritivos são restrições absolutas à implantação do aterro sanitário, e devem obedecer a NBR 13.896. De modo a descartar essas áreas, atribuiu-lhes o valor 0. As restrições são consideradas de acordo com a Tabela 2.

Para atribuir os valores para os tipos de solos, levou-se em consideração suas características, tais como: espessura, porosidade, permeabilidade, etc. A Tabela 3 mostra os valores atribuídos a cada tipo de solo da área estudada. Os solos classificados como planossolos e podzólico vermelho-amarelo receberam o valor de máxima aptidão (255), uma vez que possuem argila de atividade alta com baixa permeabilidade, ideal para a construção do aterro. Os solos litólicos, por serem

tipicamente rasos, receberam um valor relativamente baixo (100), pois dificultam a operação de empréstimos de solos para a cobertura do aterro, encarecendo a sua construção e operação. E, por fim, foi atribuído aos solos aluviais o valor mínimo (0), posto que se encontram em várzeas, áreas inundáveis.

Os pesos obtidos através do método AHP são aplicados às variáveis padronizadas utilizando a rotina MCE (*Multi Criteria Evaluation*) do SIG TerrSet – Versão 18.31. Portanto, foi gerado um mapa de aptidão que indica, segundo os critérios pré-estabelecidos, as melhores localizações para a implantação de um aterro sanitário.

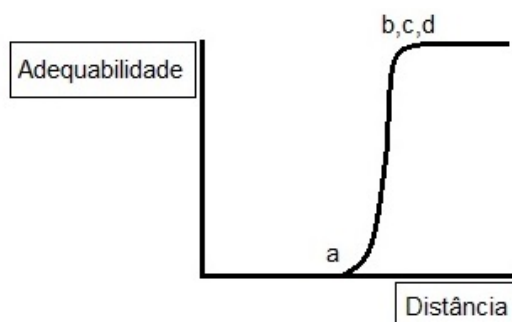


Figura 7. Curva sigmoideal monotônica crescente.

Tabela 2. Descrição das restrições adotadas.

Critério	Descrição
Rodovias	Distância mínima de 200 m
Centros urbanos	Distância mínima de 500 m
Corpos hídricos	Distância mínima 200 m
Declividade	Declividade máxima de 30%

Tabela 3. Normalização das classes de solos.

Classe do solo	Valor atribuído
Planossolos (pediplanos argilosos)	255
Solos litólicos	100
Solos aluviais (várzeas)	0
Podzólico vermelho-amarelo	255

Resultados e discussão

Para obtenção de um processo que auxilie na escolha de áreas para implantação de um aterro sanitário, além da utilização de dados corretos, é imprescindível o uso de um modelo lógico que consiga compilar as informações disponíveis e contribuir nas decisões advindas desse processo. Nesse sentido, os primeiros resultados gerados – pesos dos critérios considerados para seleção de áreas de aterros sanitários (Tabela 4) – foram obtidos ao combinar cada critério com os demais por meio de uma matriz de comparação pareada, de acordo com os especialistas entrevistados.

Tabela 4. Pesos dos critérios considerados para seleção de áreas de aterros sanitários em Toritama-PE.

Critérios	Pesos
Tipo de solo	0.2273
Tipo de uso do solo	0.2193
Declividade	0.2633
Distância de rodovias	0.0812
Distância de áreas urbanas	0.0267
Distância dos recursos hídricos	0.1821
TOTAL	1.0000

O peso mais importante para o objetivo principal proposto é a declividade, com 0.2633, seguido por tipo de solo e tipo de uso do solo, com pesos de 0.2273 e 0.2193, respectivamente. Os critérios que receberam o menor peso foram distância de áreas urbanas (0.0267), distância de rodovias e distância dos recursos hídricos.

Percebe-se, portanto, que de acordo com a metodologia proposta, os fatores de maior relevância foram os técnicos e ambientais, pois ao priorizar a declividade, o tipo e o uso do solo, observa-se o cuidado de obter um solo com maior impermeabilidade natural e com menor declividade, reduzindo as possibilidades de contaminação do aquífero, oferecendo também condições menos críticas para os sistemas de drenagem, além da preferência por áreas agrícolas ou industriais, fora de qualquer unidade de conservação ambiental.

Ainda sobre o critério técnico, a declividade e sua escolha em detrimento aos critérios ambientais, demonstra uma inclinação dos especialistas em facilitar os aspectos técnicos e, conseqüentemente, econômicos da implantação de um aterro, deixando em evidência o cumprimento dos requisitos mínimos estabelecido por norma para a escolha de áreas para a instalação de aterros, como, por exemplo, a distância mínima de 200 metros de qualquer corpo d'água.

Com a obtenção dos pesos, utilizou-se o módulo MCE do SIG TerraSet para a obtenção do mapa de aptidão (Figura 8) para o município de Toritama-PE. Ao analisar o mapa, percebe-se que quase 100% as áreas próximas ao perímetro do município são vistas com áreas de baixa ou nula aptidão à implantação de aterros sanitários, tal fato pode estar associado essencialmente a presença de corpos hídricos nas margens do município, além da presença de terraços aluviais no perímetro do sudoeste a sudeste, como foi mostrado no mapa de solos (Figura 2) e hidrográfico (Figura 6).

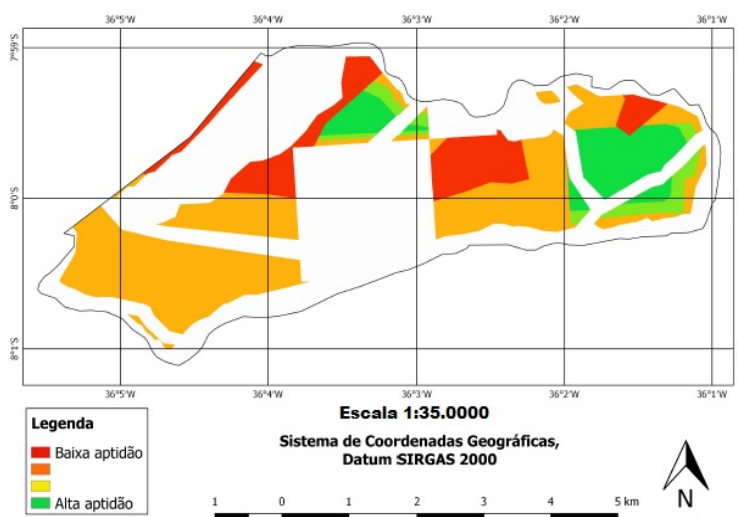


Figura 8. Mapa de aptidão para implantação de aterro sanitário em Toritama-PE.

Em relação ao tipo de solo, todas as áreas com média a alta aptidão possuem solos argilosos – com baixa permeabilidade, o que dificulta a contaminação de águas subterrâneas devido ao chorume gerado pelos resíduos sólidos – e a presença de estradas nas proximidades. Dentre essas áreas, observa-se essencialmente que as áreas de alta aptidão possuem maior distância dos recursos hídricos. Uma das áreas com maior aptidão para instalação do aterro foi à leste do município, certamente tal resultado possui influência da baixa declividade presente nessa região e a presença de estradas, assim como foi visto no mapa de altitude e de rede viária (Figuras 4 e 5, respectivamente). A presença de redes viárias, além de solos argilosos na região sudoeste do município também pode ter favorecido à aptidão média para implantação de aterros e essa classificação – não tão alta mesmo havendo fatores positivos – nessa região pode ter sido influenciada pela presença de maior declividade.

Conclusões

O gerenciamento de resíduos sólidos urbanos tem sido uma questão difícil para os gestores públicos e outros tomadores de decisão envolvidos no setor, por se tratar de processo que possui uma grande carga poluidora. Nesse sentido, a metodologia descrita neste trabalho pode ser adaptada de acordo com os dados disponíveis para a região e/ou acréscimo de fatores presentes em outros estudos de caso, obtendo resultados preliminares satisfatórios e confiáveis para seleção de área para implantação de aterros sanitários.

Para o município de Toritama-PE, foram encontradas áreas com alta e média aptidão à alocação de aterros sanitários, de acordo com os parâmetros analisados. As áreas com alta aptidão se destacaram por serem distantes de cursos de água, próximas a rodovias, com baixa declividade e com tipo de solo argiloso (baixa permeabilidade). Porém, como são resultados de caráter preliminar, há fatores que não foram considerados na análise, como por exemplo, direção e velocidade de vento e profundidade do lençol freático. Sendo assim, reitera-se a importância do uso de informações mais específicas no processo decisório para implantação dos aterros sanitários, a fim de obter uma segurança ambiental, eficiência técnica e menores custos relacionados ao projeto no futuro.

Quanto ao uso do software de geoprocessamento TerrSet, esse mostrou-se uma ferramenta prática e eficaz para a seleção de áreas aptas à implantação de aterros sanitários, visto que inclui diversos módulos para o monitoramento do meio ambiente e gerenciamento de recursos naturais, detecção de mudanças e análises de séries temporais, análises multicritérios e de indecisão (incluindo análises Bayesianas e Fuzzy) etc. Este incorpora ferramentas de processamento e análise de imagem do IDRISI, associado a uma coleção de aplicações verticais. O TerrSet pode ser adotado como ferramenta de apoio à decisão em diversas áreas da Engenharia.

Por fim, espera-se que esta pesquisa contribua na avaliação e seleção de áreas potenciais à instalação de aterros sanitários, utilizando metodologia multicritério associada com geoprocessamento, pois permite a participação de especialistas e atribuição de critérios ambientais e econômicos. Dessa forma, pode auxiliar no desenvolvimento de estudos com o tema em questão e na universalização da Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil, reduzindo custos operacionais e impactos ao meio ambiente.

Referências bibliográficas

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992) *NBR 8419 Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro.

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997) *NBR 13896 Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro.
- ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2018) *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017*, São Paulo. Acesso em 20 de julho de 2019, disponível em: http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf
- Afzali, A., Sabri, S., Rashid, M., Samani, J. M. V., Ludin, A. N. M. (2014) Inter-Municipal landfill site selection using analytic network process, *Water Resource Management*, **28**, 2179-2194. doi: <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0605-3>
- Almeida, A. Teixeira (2010) *O conhecimento e o uso de métodos multicritérios de apoio a decisão*, 2a ed., Editora Universitária da UFPE, Recife, 192 pp.
- Andrade, A. J. B., Barbosa, N. P. P (2015) Combinação do método AHP e SIG na seleção de áreas com potenciais para a instalação de aterro sanitário: caso da ilha do Fogo, na República de Cabo Verde. *Revista de Geografia (UFPE)*, **32**(2), 248-266.
- Aragonés-Beltrán P., Pastor-Ferrando J. P., García-García F., Pascual-Agulló, A. (2010) An Analytic Network Process approach for siting a municipal solid waste plant in the Metropolitan Area of Valencia (Spain) *Journal of Environmental Management*, **91**, 1071–1086. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.12.007>
- Bohnenberger, J. C., Pimenta, J. F. de P., Abreu, M. V. S., Comini, U. B., Calijuri, M. L., Moraes, A. P. de, Pereira, I. da S. (2018) Identificação de áreas para implantação de usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição com uso de análise multicritério. *Ambiente Construído*, **18**(1), 299–311. doi: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000100222>
- Costa, C. W., Lorandi, R., Serikawa, V. S., Ferreira, T. S., Stanganini, F. N., Gonçalves, N. P. S., Lollo, J. A. (2018) Análise multicritério aplicada à seleção de áreas para implantação de aterros sanitários na bacia do ribeiro do meio (Leme, SP), em escala 1:50.000. *Sociedade e Natureza*, **50**(1), 205-227. doi: <https://doi.org/10.14393/SN-v30n1-2018-9>
- Delgado, O. B., Mendoza, M., Granados, E. L., Geneletti, D. (2008) Analysis of land suitability for the siting of inter-municipal landfills in the Cuitzeo Lake Basin, Mexico. *Waste Management*, **28**(7), 1137–1146. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.07.002>
- Demesouka, O. E., Vavatsilkos, A. P., Anagnostopoulos, K. P. (2016) Using MACBETH multicriteria technique for GIS-Based landfill suitability analysis. *Journal of Environment Engineering*, **142**(10), 04016042. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001109](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001109)
- Embrapa. Zoneamento agroecológico do Estado de Pernambuco. Recife: Embrapa Solos UEP Recife/SPRRA-PE, 2002.
- Freitas, A. L. P., Cordeiro, A. G. (2011) Priorização de requisitos para o desenvolvimento de software: Uma abordagem multicritério utilizando o método AHP. *Produto & Produção*, **12**(2), 87-107. doi: <https://doi.org/10.22456/1983-8026.15131>
- Gbanie, S. P., Tengbe, P. B., Momoh, J. S., Medo, J., Kabba, V. T. S. (2012) Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): Case study Bo, Southern Sierra Leone. *Applied Geography*, **36**, 3–12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.06.013>
- Geneletti, D. (2010) Combining stakeholder analysis and spatial multicriteria evaluation to select and rank inert landfill sites. *Waste Management*, **30**(2), 328–337. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.09.039>
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019) Acesso em 12 de setembro de 2019, disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/toritama/panorama>
- Korucu, K. M., Erdagi, B. (2012) A criticism of applications with multi-criteria decision analysis that are used for the site selection for the disposal of municipal solid wastes. *Waste Management*, **32**(12), 2315–2323. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.07.003>

- Montaño, M., Ranieri, V. E. L., Schalch, V., Fontes, A. T., Castro, M. C. A. A. D., Souza, M. P. D. (2012) Integração de critérios técnicos, ambientais e sociais em estudos de alternativas locacionais para implantação de aterro sanitário. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **17**(1), 61-70. doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522012000100010>
- Moura, A. C. M., Jankowski, P. L. (2014) Contribuições aos estudos de análises de incertezas como complementação às análises multicritérios-“Sensitivity Analysis to Suitability Evaluation”. *Revista Brasileira de Cartografia*, **68**(4), 665-684.
- Nyerges, T. L., Jankowski, P. (2010) *Regional and Urban GIS: Decision support approach*. Editora The Guilford Press, New York, 248 pp.
- Perpiña, C., Martínez-Llario, J. C., Pérez-Navarro, Á. (2013) Multicriteria assessment in GIS environments for siting biomass plants. *Land Use Policy*, **31**, 326–335. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.07.014>
- Spigolon, L. M. G., da Costa Souza, N., Larocca, A. P. C., Giannotti, M. A., Russo, M. A. T., Alonso, J. M. (2015) Seleção de áreas adequadas para a instalação de aterro sanitário utilizando SIG e análise multicritério-estudo de caso: UGRHI 5 (Piracicaba/Capivari/Jundiaí) *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR*, João Pessoa-PB, Brasil, 1983-1990.
- Uyan, M. (2013) MSW landfill site selection by combining AHP with GIS for konya, Turkey. *Environment Earth Science*, **71**(4), 1629-1639. doi: <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2567-9>
- Weber, E., Hasenack, H. (2000) Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados, *Congresso e feira para usuários de geoprocessamento da América Latina*, Salvador, Brasil.
- Yal, G. P., Akgun, H. (2013) Landfill site selection and landfill liner design for Ankara, Turkey. *Environmental Earth Science*, **70**(6), 2729-2752. doi: <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2334-y>