

Análise espacial para identificação de áreas propícias à implantação de aterro sanitário: utilizando ferramentas de geoprocessamento para tomada de decisão

Spatial Analysis for Identifying Suitable Areas for Landfill Implementation: Using Geoprocessing Tools for Decision-Making

Luana Ferreira Blanco¹

RESUMO - O crescimento populacional e a intensificação do consumo têm ampliado os desafios relacionados à gestão adequada de resíduos sólidos urbanos. Este trabalho tem como objetivo identificar áreas aptas à instalação de aterro sanitário no município de Rochedo, Mato Grosso do Sul, por meio de técnicas de geoprocessamento e análise multicritério. Foram considerados os seguintes critérios: declividade, distância de rodovias, distância do centro urbano e distância de corpos hídricos, ponderados com base na metodologia de Análise Hierárquica de Processos (AHP). Cada critério foi reclassificado no software QGIS em faixas de aptidão de 0 a 4, sendo posteriormente integrados por meio da ferramenta Raster Calculator. Os resultados indicam que aproximadamente 66% do território municipal apresenta condições favoráveis ou muito favoráveis para a instalação de um aterro sanitário, enquanto 28% foram classificados como áreas proibidas, especialmente por se sobrepor a zonas urbanas, corpos hídricos ou declividades acentuadas. Apesar dos resultados promissores, destaca-se a necessidade de estudos complementares in loco, principalmente para análise da profundidade do lençol freático, fator essencial para o licenciamento ambiental. Além disso, a ausência da camada de Reserva Legal na análise final, devido a limitações técnicas, pode ter influenciado na delimitação das áreas mais aptas. Conclui-se que a integração entre Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e métodos de análise multicritério constitui uma ferramenta eficiente para o planejamento da gestão de resíduos sólidos, oferecendo subsídios técnicos para a tomada de decisão por parte do poder público.

Palavras-chave: geoprocessamento; análise multicritério; aterro sanitário; SIG; resíduos sólidos urbanos.

ABSTRACT - Population growth and increasing consumption have intensified the challenges associated with the proper management of municipal solid waste. This study aims to identify suitable areas for the installation of a sanitary landfill in the municipality of Rochedo, Mato Grosso do Sul, using geoprocessing techniques and multicriteria analysis. The following criteria were considered: slope, distance to roads, distance to the urban center, and distance to water bodies, weighted based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) methodology. Each criterion was reclassified in QGIS software using a suitability scale from 0 to 4, and the layers were subsequently integrated using the Raster Calculator tool. The results indicate that approximately 66% of the municipal territory presents favorable or highly favorable conditions for landfill siting, while 28% were classified as restricted areas, mainly due to their overlap with urban zones, water bodies, or steep slopes. Despite the promising outcomes, the need for complementary in situ studies is emphasized, particularly regarding groundwater table depth an essential factor for environmental licensing. Additionally, the exclusion of the Legal Reserve layer from the final analysis, due to technical processing limitations, may have influenced the delineation of the most suitable areas. It is concluded that the integration of Geographic Information Systems (GIS) with multicriteria analysis methods is an effective tool for solid waste management planning, providing technical support for decision-making by public authorities.

Keywords: geoprocessing; multicriteria analysis; sanitary landfill; GIS; municipal solid waste

¹ Graduando do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. E-mail: luanafblanco@ufms.br

Introdução

Com o crescimento populacional em crescimento exponencial, atingimos 8 bilhões de pessoas em 2022 (ONU, 2022). E uma das maiores preocupações atuais trata-se da geração e disposição final de resíduos sólidos gerados pela população. Segundo a ABREMA (Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente), cada habitante no Brasil produziu em média 380 kg de resíduos sólidos no ano de 2023. Em seu relatório, a ABREMA aponta que especialistas e ambientalistas frisam a importância de acelerar a implantação de aterros sanitários adequados. Meta também estipulada pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS – Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010), que estabelece que haja metas para eliminação e recuperação de lixões e que a disposição final ambientalmente adequada é a disposição em aterros.

No Brasil, de acordo com Zanta e Ferreira (2003), em municípios brasileiros com população inferior a 10 mil habitantes, considerados de pequeno porte, a prática mais comum ainda é o depósito de resíduos sólidos a céu aberto, representando cerca de 48% do total.

No estado de Mato Grosso do Sul, de 79 dos municípios, 24 destes possuem menos de 10 mil habitantes (IBGE, 2022). O que infere a situação de atenção que deve ser dada para esses municípios em relação ao tratamento de resíduos sólidos.

A cidade de Rochedo, localizada no estado de Mato Grosso do Sul, apresenta desafios significativos no gerenciamento de resíduos sólidos, especialmente devido às características socioeconômicas e populacionais do município, que possui menos de 10 mil habitantes (IBGE, 2022). Esses municípios, muitas vezes, enfrentam limitações estruturais e financeiras que dificultam a implantação de sistemas de

disposição final adequados, conforme preconizado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n.º 12.305/2010).

Nesse contexto, a identificação de áreas propícias à instalação de aterros sanitários se torna uma prioridade. Este processo exige não apenas uma análise criteriosa das condições ambientais e legais, mas também a incorporação de ferramentas tecnológicas que possibilitem uma avaliação detalhada e precisa dos critérios técnicos. Estudos como o de Montaña et al. (2012) evidenciam a importância de considerar fatores multidisciplinares no planejamento, incluindo aspectos ambientais, sociais e econômicos, para minimizar os impactos associados à operação desses aterros.

A utilização de metodologias baseadas em análise multicritério, como o Processo de Análise Hierárquica (AHP), tem se mostrado eficaz em projetos de localização de aterros sanitários. O AHP permite a ponderação de critérios segundo sua relevância, atribuindo pesos relativos com base em dados técnicos e na literatura especializada (Saaty, 1977). A integração dessa metodologia com Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) potencializa a análise espacial, permitindo a reclassificação de critérios técnicos e a combinação de camadas temáticas por meio de ferramentas como a Raster Calculator, no QGIS, para a geração de mapas temáticos que auxiliam na tomada de decisão (Câmara et al., 1996).

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise espacial para identificar áreas ambientalmente, economicamente e legalmente adequadas à implantação de um aterro sanitário no município de Rochedo, MS. Para tanto, será utilizada a metodologia AHP integrada a técnicas de geoprocessamento, com suporte do software QGIS, visando fornecer subsídios técnicos que possam orientar os gestores

loais na escolha de áreas otimizadas para a disposição final de resíduos sólidos.

classificação de Köppen-Geiger), caracterizado por períodos distintos de seca e chuvas, com precipitação média anual

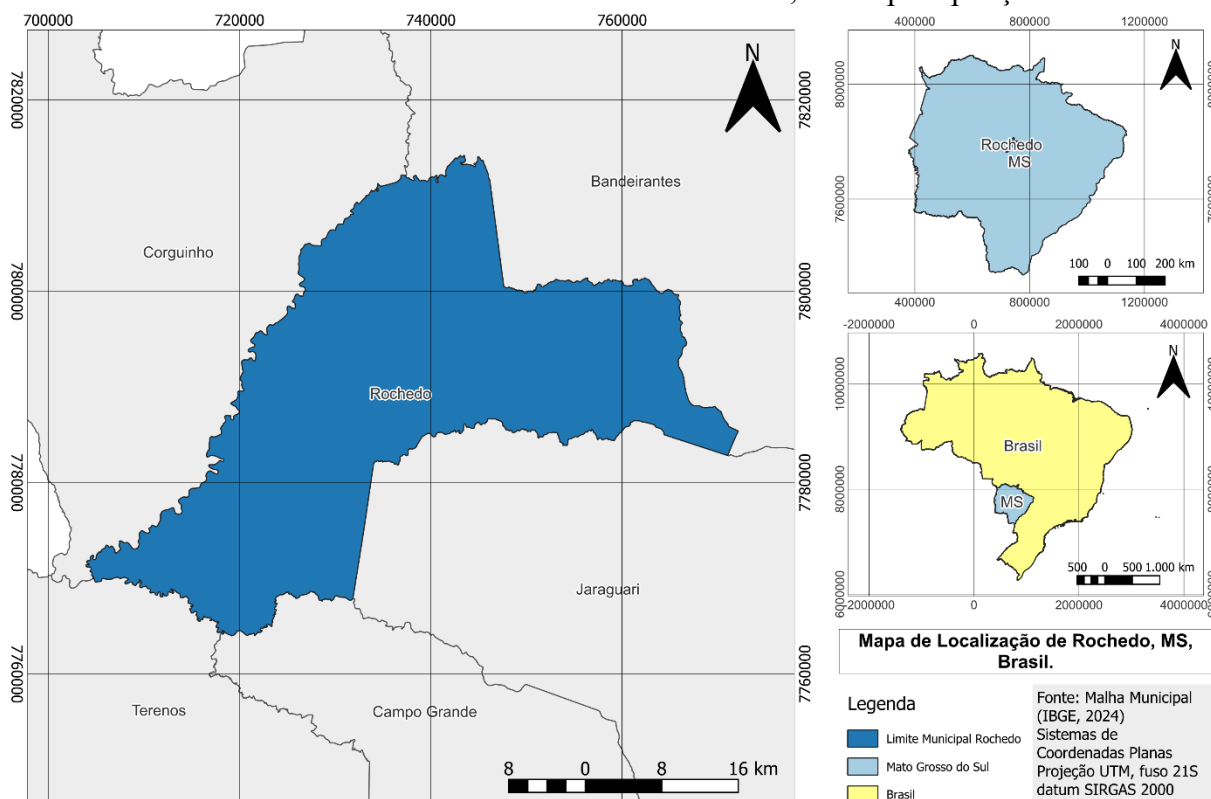


Figura 1 – Localização da área de estudo, município de Rochedo, MS.

Materiais e métodos

Área de Estudo

O presente trabalho foi desenvolvido tendo como estudo de caso o município de Rochedo, localizado no estado de Mato Grosso do Sul, no centro-norte do estado. Com uma área territorial de 1.309,574 km², o município encontra-se a uma latitude de 19°57'11" S e longitude 54°53'33" O, estando a 54 km de distância da capital, Campo Grande. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população estimada em 2022 era de aproximadamente 5.199 habitantes, com uma densidade demográfica de cerca de 3,96 hab/km² (IBGE, 2022).

O clima da região é classificado como tropical de savana (Aw, na

remanescentes de mata ciliar ao longo dos rios e córregos que atravessam o território municipal. O município está inserido na bacia hidrográfica do rio Aquidauana, sendo cortado pelo rio Negro, um dos afluentes de importância regional (Prefeitura de Rochedo, 2024).

A economia local está fortemente vinculada ao agronegócio, com destaque para a pecuária de corte e a produção de grãos, como soja e milho. Além disso, a presença do frigorífico NaturaFrig contribui para o fortalecimento das atividades agroindustriais no município. De acordo com o IBGE, a agricultura e a pecuária respondem por significativa parte do Produto Interno Bruto (PIB) municipal, que somou cerca de R\$ 79,5 milhões em 2020 (IBGE, 2020).

No que diz respeito ao saneamento básico, dados do Sistema Nacional de No

que diz respeito ao saneamento básico, dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) indicam que o município enfrenta desafios relacionados à cobertura de abastecimento de água tratada e à ausência de um sistema efetivo de coleta e tratamento de esgoto. Quanto ao manejo de resíduos sólidos, Rochedo firmou uma parceria com a concessionária Solurb para o encaminhamento de seus resíduos sólidos ao aterro sanitário de Campo Grande, possibilitando uma destinação ambientalmente adequada (Prefeitura de Rochedo, 2024). Apesar disso, o município ainda carece de um planejamento estratégico detalhado para identificar áreas adequadas à instalação de um aterro sanitário próprio

Com base nessas características, Rochedo se apresenta como um município típico do interior do estado, com desafios e oportunidades associados ao desenvolvimento sustentável, que tornam a área de estudo relevante para análises na área de gestão ambiental e socioeconômica.

Neste contexto, o estudo atual assume relevância ao propor uma análise criteriosa para a escolha de áreas adequadas à implantação de um aterro sanitário em Rochedo. Essa abordagem visa não apenas reduzir a dependência de serviços externos, mas também minimizar custos logísticos e promover maior autonomia na gestão de resíduos sólidos. Além disso, a seleção criteriosa da área busca mitigar impactos ambientais, considerando aspectos geográficos, geotécnicos e de uso do solo, garantindo uma alternativa sustentável para a gestão de resíduos no município.

Materiais

Para a realização deste estudo, foram utilizados dados secundários obtidos de bases públicas e confiáveis, além de ferramentas computacionais de geoprocessamento. Os materiais podem ser agrupados em duas categorias principais: Dados Espaciais e Software

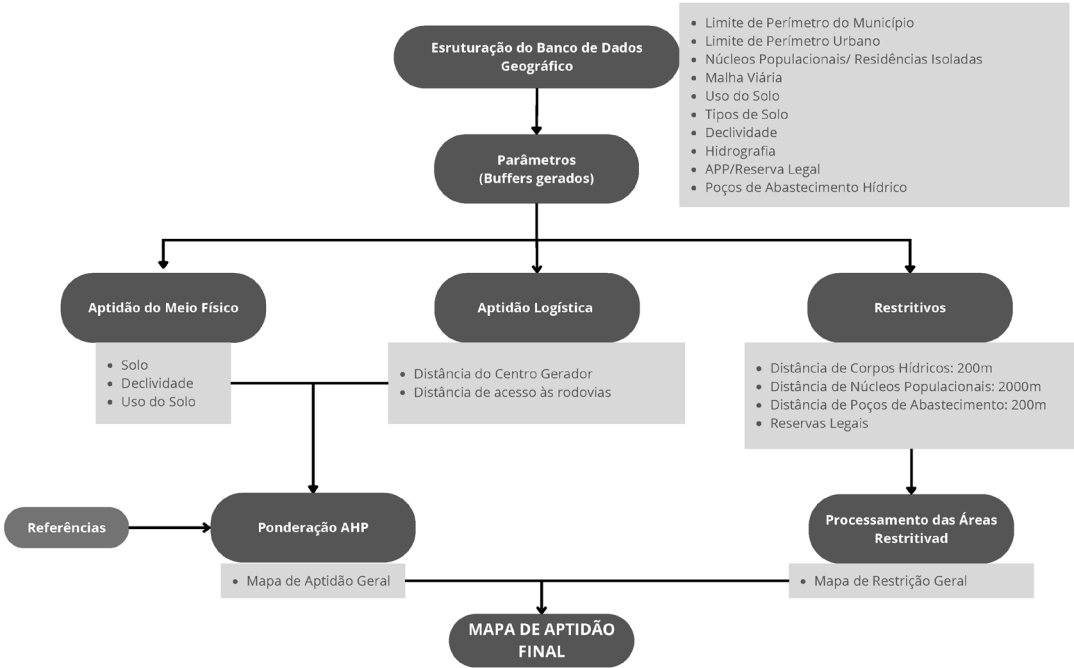


Figura 2 - Estruturação de Banco de Dados e Processamento.

1. Dados espaciais

Foram utilizadas as seguintes bases de dados:

- Limite municipal: obtido a partir da base cartográfica do Estado de Mato Grosso do Sul (PIN/MS).
- Sistema viário: camada vetorial com a rede de rodovias estaduais e federais, também fornecida pelo PIN/MS.
- Centro urbano: delimitado pela autora, com base nas imagens de Google Earth Pro.
- Corpos hídricos: extraídos da base hidrográfica do PIN/MS, contemplando rios, córregos e nascentes.
- Declividade: derivada de um Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução de 30 m, obtido do portal OpenTopography (Copernicus, Sentinel-1 e Sentinel-2).
- Áreas de restrição legal: arquivos shapefile referentes às Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reservas Legais, obtidos por meio do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR, 2017).
- Dados de solo e uso do solo: fornecidos pelo MapBiomass, utilizados para embasamento da elaboração de mapa pedológico e mapa de uso e ocupação do solo.

2. Software

Para o processamento dos dados e elaboração dos mapas temáticos, foi utilizado o software QGIS versão 3.40 Bratislava, ferramenta de código aberto amplamente empregada em análises ambientais e geoespaciais.

Os dados foram reclassificados e integrados por meio de operações raster, conforme os critérios estabelecidos na

metodologia, permitindo a geração do mapa final de aptidão para a instalação de aterro sanitário.

Procedimentos Técnicos

A metodologia adotada para seleção de áreas adequadas à instalação de aterro sanitário seguiu os parâmetros técnicos estabelecidos pelo IMASUL (Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul), complementados por diretrizes da literatura científica. Para a execução da análise espacial, utilizou-se o software QGIS 3.40 (Bratislava), com o apoio de ferramentas de reclassificação raster, cálculo de mapas temáticos e álgebra de mapas. O objetivo foi integrar dados espaciais e critérios técnicos, legais e ambientais, a fim de identificar áreas aptas para a instalação de um aterro sanitário no município de Rochedo (MS).

O processo metodológico seguiu as seguintes etapas:

Preparação dos dados:

Todos os arquivos shapefile foram reprojetados para o mesmo sistema de coordenadas (SIRGAS 2000 – UTM zona 21S) e convertidos em raster com resolução espacial uniforme. Foram utilizadas as seguintes camadas temáticas:

- Limite do município;
- Rede hidrográfica;
- Área urbana (núcleos populacionais);
- Rodovias;
- Declividade (derivada do Modelo Digital de Elevação - MDE Copernicus);
- Pedologia;
- Uso e Ocupação do Solo.

Reclassificação dos critérios:

Cada camada foi reclassificada em uma escala de 1 a 4, conforme a aptidão para a

instalação do aterro sanitário. Essa escala foi definida como:

(1): Proibida: áreas com impedimentos legais ou técnicos;

(2): Razoavelmente Favorável: áreas com limitações superáveis mediante adequações;

(3): Favorável: áreas tecnicamente adequadas;

(4): Muito Favorável: áreas ideais, com elevada viabilidade técnica e legal.

Exemplo de reclassificação aplicada à camada hidrográfica:

- 0 a 200 m: classe 1 (Proibida);
- 200,1 a 500 m: classe 2 (Razoavelmente Favorável);
- Acima de 500 m: classe 4 (Muito Favorável).

Normalização e ponderação dos critérios:

Com base na literatura técnica, os critérios foram ponderados conforme sua importância relativa no processo decisório, utilizando a metodologia de Análise Hierárquica de Processos (AHP). Os pesos atribuídos foram:

- Declividade: 0,0371
- Distância da área urbana (centro de coleta): 0,2413
- Distância de rodovias: 0,0191
- Uso e Ocupação do Solo: 0,4037
- Tipo de Solo: 0,2986

Combinação dos critérios:

A composição final dos critérios ponderados foi realizada utilizando a ferramenta *Raster Calculator* do QGIS. A fórmula aplicada foi:

Equação 1

$$(Declividade * 0,371) + (Núcleos Populacionais * 0,2413) + (Rodovias * 0,0191) + (Uso do Solo * 0,437) + (Tipo de Solo * 0,2986)$$

Classificação final:

O raster resultante foi reclassificado em escalas de aptidão: Baixa, Média e Alta.

Resultados e Discussão

A análise espacial permitiu identificar, por meio da sobreposição de critérios técnicos, legais e logísticos, as áreas aptas à instalação de aterros sanitários no município de Rochedo (MS). A metodologia adotada integrou variáveis ambientais, de uso e ocupação do solo, logística e restrições legais em ambiente SIG, utilizando o software QGIS 3.40. A ponderação dos critérios foi realizada com base na metodologia de Análise Hierárquica de Processos (AHP), permitindo atribuir pesos relativos à importância de cada fator conforme estudos similares na literatura científica.

Os critérios restritivos, como áreas urbanas, corpos hídricos, zonas de proteção permanente e proximidade a poços de abastecimento, foram aplicados inicialmente para excluir áreas inviáveis, conforme representado na Figura 3.

Com base na **Tabela 1**, os parâmetros ambientais e legais foram reclassificados, resultando na construção do mapa de áreas inaptas **Figura 7**. Observa-se que a porção oeste e sudoeste do município concentram grande parte das áreas inadequadas, sobretudo pela presença de corpos hídricos e proximidade a zonas urbanas.

As áreas remanescentes foram então avaliadas quanto à aptidão física e logística, com base nos seguintes critérios: declividade, uso e cobertura do solo, tipo de

solo, distância até rodovias e até o centro urbano. A **Figura 6** apresenta os mapas de aptidão logística, revelando que as regiões centrais e leste do município apresentam

melhores condições de acesso viário e proximidade ao centro gerador de resíduos sólidos.

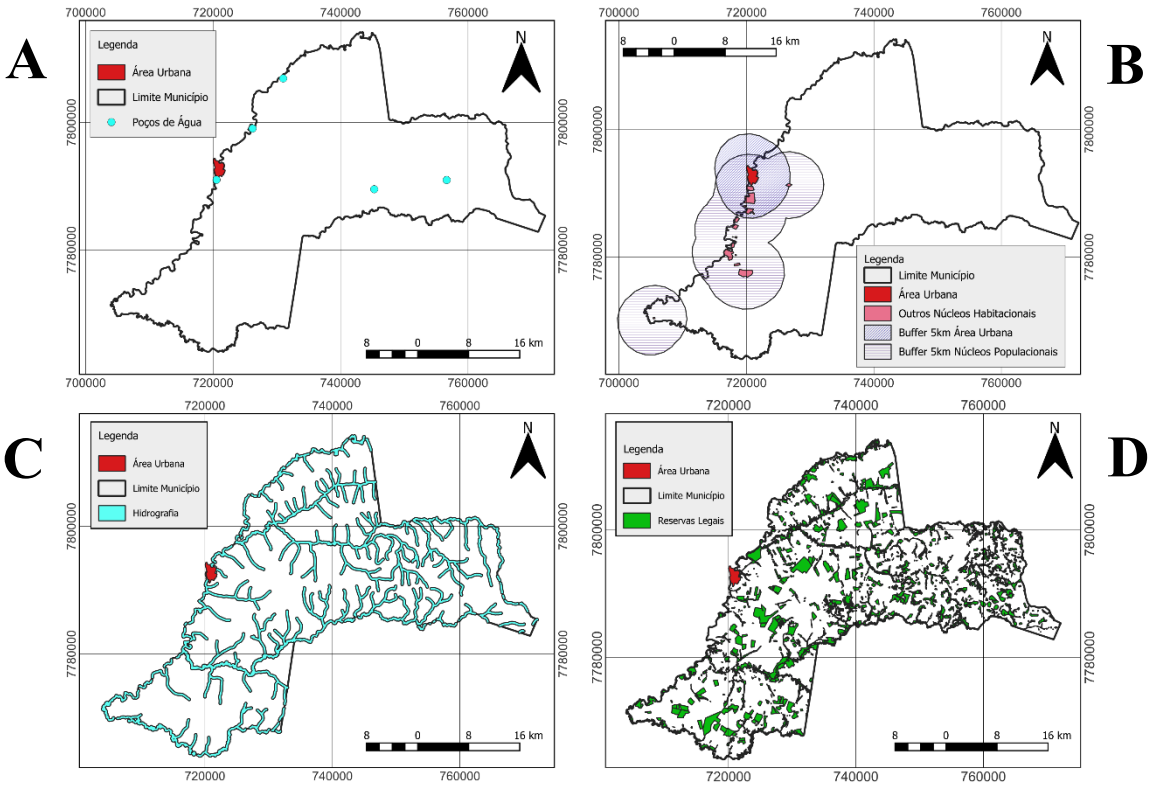


Figura 3 - Mapa de Áreas Restritivas à Instalação de Aterro Sanitário. (A) Poços de Água, (B) Distância de Núcleos Populacionais, (C) Distância de Corpos Hídricos e (C) Reservas Legais.

Tabela 1 – Parâmetros Restritivos para Instalação de Aterro Sanitário.

Parâmetro	Fonte	Restrição	Observações
Tipo de Solo/Permeabilidade	IMASUL	Coef. de permeabilidade > 10^{-4} cm/s	Recomendado: solo argiloso, homogêneo, impermeável
Distância de Corpos Hídricos	IMASUL	< 200 m	Recomendado: > 500 m
Profundidade do nível freático	IMASUL	< 5 m	Recomendado: ≥ 8 m
Zoneamento Ambiental	IMASUL	Áreas de unidades de conservação, ecossistemas frágeis ou vulnerabilidade ambiental	Devem ser eliminadas na etapa de análise prévia
Uso e Ocupação do Solo	IMASUL	Áreas de ocupação intensa / áreas de risco (alagamento, deslizamento etc.)	Recomendado evitar áreas urbanizadas ou com tráfego intenso

Fonte: Adaptado, IMASUL, 2025..

A integração das camadas temáticas foi realizada utilizando a Calculadora Raster do QGIS. Os critérios previamente reclassificados em uma escala ordinal de 1 a 4 foram ponderados conforme os pesos definidos nas **Tabela 2 a 5**, aplicando a seguinte expressão de álgebra de mapas:

O resultado foi o mapa de aptidão geral, representado na **Figura 7**, onde as áreas foram classificadas em quatro categorias, Proibida, Razoavelmente Favorável, Favorável e Muito Favorável. As áreas de alta aptidão concentram-se, sobretudo, nas regiões sul e leste do município, caracterizadas por solo argiloso, relevo suavemente ondulado e afastamento adequado de zonas urbanas e da hidrografia.

Tabela 2 – Parâmetros de Aptidão do Meio Físico.

Fatores	Fonte	Aptidão		
		Baixa	Média	Alta
Tipo de Solo	Imasul (adaptado)	Solos arenosos, solos rochosos e com grandes quantidades de pedras	Solos areno-argiloso a vermelho álco.	Solos argilosos, homogêneos, baixa permeabilidade
Uso do Solo	Feo & Gisi (2014), adaptado	Vegetação arbórea de grande porte / mata nativa	Pastagens ou áreas transicionais	Áreas antrópicas consolidadas (uso rural/agro)
Declividade	NBR 13.896 (1997) e Imasul (adaptado)	30%	10–30 %	1–10 % (mais adequada tecnicamente)

Tabela 3 – Parâmetros de Aptidão Logística

FATORES	Fontes	Limite	
		Mínimo	Máximo
Distância até rodovias	Imasul & Chang et al. (2008)	Mínimo de 300 m	10km
Distância do Centro Gerador	Imasul (adaptado)	5km	25km

Tabela 4 – Pesos de cada parâmetro a partir de Pesquisa Bibliográfica.

Fonte	Declividade	Tipo de solo	Uso do solo	Distância do Centro de Coleta	Distância de Rodovias
Spigilon et al (2018)	0,036	0,213	0,073	0,046	0,026
Medeiros (2022)	0,074	0,036	0,069	0,02	0,047
Santos (2023)	0,045	0,056	0,11	0,031	0,088
Almeida et al. (2023)	0,037	0,037	0,277	0,096	0,065
Felicori et al. (2016)	0,129	-	-	0,0664	0,0449
Pinheiro (2019)	0,214	0,038	0,062	-	0,075
Oliveira (2019)	0,2633	0,2273	0,2193	0,0267	0,0812
Chabuk (2017)	0,0463	0,0709	0,0302	0,1471	0,0463
Islam (2020)	0,0326	0,054	0,1551	0,0921	0,0264
Güler & Yomralioglu (2017)	0,1352	0,0817	0,1048	0,1324	0,0221
Média dos Pesos	0,1012	0,8139	1,1004	0,6577	0,0522
Pesos finais normalizados	0,0371	0,2986	0,4037	0,2413	0,0191

Tabela 5 - Ponderações de valores das classes utilizadas para a classificação de aptidão.

Parâmetro		Peso do Parâmetro	Classes	Valor da Classe
Aptidão do Meio Físico (Valores absolutos)	Declividade	0,0371	1-10%	4
			10-30%	3
			>30%	1
	Tipo de Solo/Associações	0,2986	Solos argilosos, homogêneos, baixa permeabilidade	4
			Solos areno-argilosos / vermelhos álicos	3
			Solos arenosos, pedregosos ou rochosos	1
	Uso do Solo	0,4037	Áreas antrópicas consolidadas (uso rural/agro)	4
			Pastagens ou áreas transicionais	3
			Vegetação arbórea de grande porte / mata nativa	2
			Ocupação intensa / áreas de risco (alagamento, deslizamento etc.)	1
Aptidão Logística	Distância Centro de Coleta	0,2413	5 a 15 km	4
			15 a 25 km	3
			>25 km	2
			<5 km	1
	Distância de Rodovias	0,0191	>300 m	4
			≤300 m	0

Em seguida, o cruzamento do mapa de aptidão com o mapa de restrições resultou no mapa final de aptidão **Figura 8**, no qual somente as áreas tecnicamente e legalmente viáveis foram mantidas. As regiões mais indicadas para a instalação do empreendimento concentram-se na porção sudeste e centro-leste do município.

Os valores do raster final foram agrupados em quatro categorias de aptidão, de acordo com a escala definida na metodologia:

- **1 – Proibida**
- **2 – Razoavelmente Favorável**
- **3 – Favorável**
- **4 – Muito Favorável**

A maior parte do território foi classificada como “Favorável” (41%), seguida por “Muito Favorável” (25%), totalizando 66% da área do município com boas condições técnicas para a instalação do aterro sanitário. As áreas classificadas como “Proibidas” (28%) estão associadas a zonas urbanas, presença de corpos hídricos e terrenos com elevada declividade. Já as “Razoavelmente Favoráveis” (6%) indicam zonas de transição que podem exigir intervenções complementar.

A escolha por utilizar a Calculadora Raster, em vez da lógica fuzzy, fundamentou-se na objetividade dos critérios adotados e na clareza dos limites definidos segundo as diretrizes do IMASUL. Apesar disso, o método fuzzy representa uma alternativa metodológica promissora para estudos

futuros, especialmente em regiões com gradientes ambientais suaves, onde a transição entre classes é menos nítida.

Por fim, ressalta-se que duas limitações relevantes afetaram a composição final dos resultados:

1. A camada de Reserva Legal não foi integrada ao modelo, apesar de ter sido obtida via SICAR. Problemas técnicos no QGIS impediram sua vetorização adequada, o que pode ter superestimado a aptidão de algumas áreas legalmente protegidas;
2. A profundidade do lençol freático não foi considerada, por exigir

dados hidrogeológicos específicos obtidos por sondagens em campo, inviáveis dentro dos limites deste trabalho e ausentes em bases públicas confiáveis.

Portanto, os resultados apresentados devem ser compreendidos como uma base técnica preliminar, construída com base em critérios objetivos, dados públicos e metodologia replicável. Recomenda-se fortemente a validação em campo e a realização de estudos complementares, como sondagens geotécnicas, análises hidrogeológicas, pareceres ambientais e avaliações fundiárias, antes da definição da área definitiva para instalação do aterro sanitário.

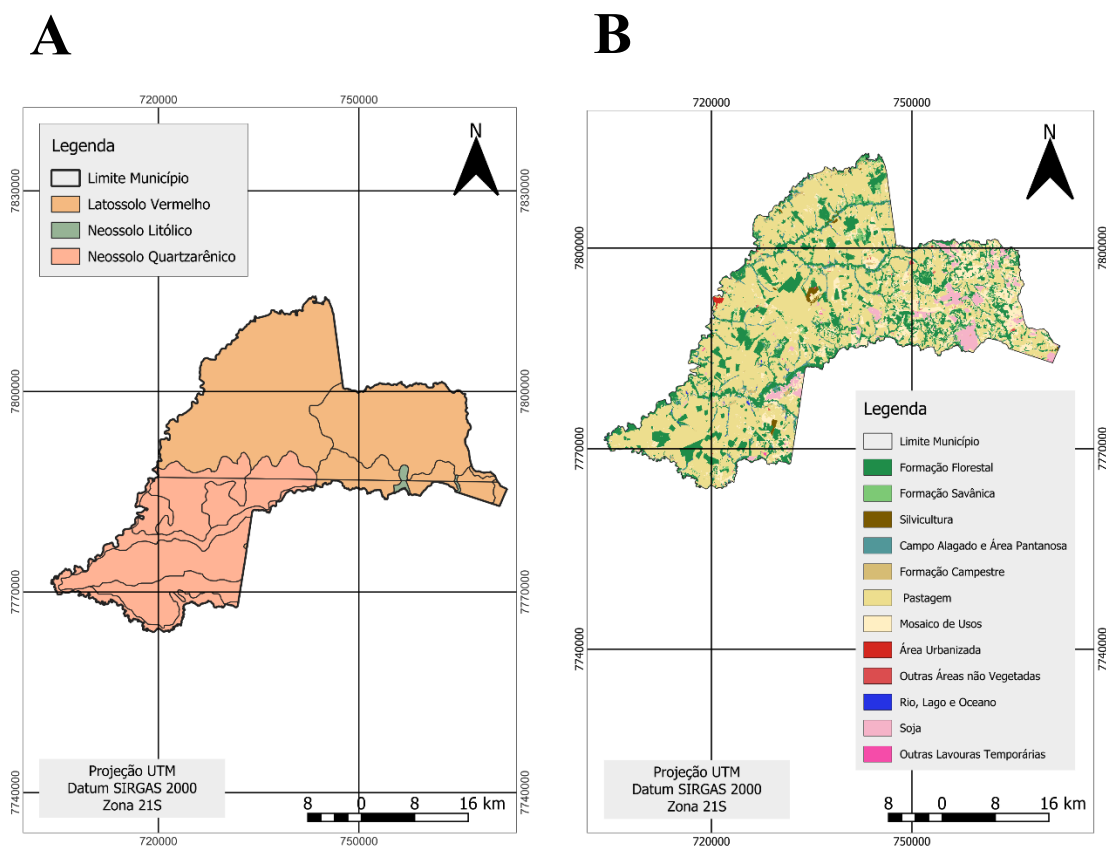


Figura 4 – Mapa de Aptidão do Meio Físico: (A) Mapa Pedológico; (B) Mapa de Uso do Solo.

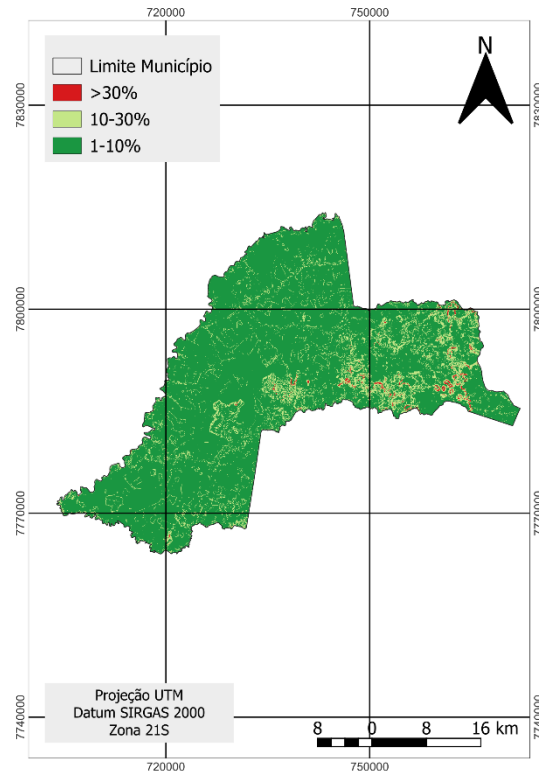


Figura 5 – Mapa de Aptidão do Meio Físico: Declividade.

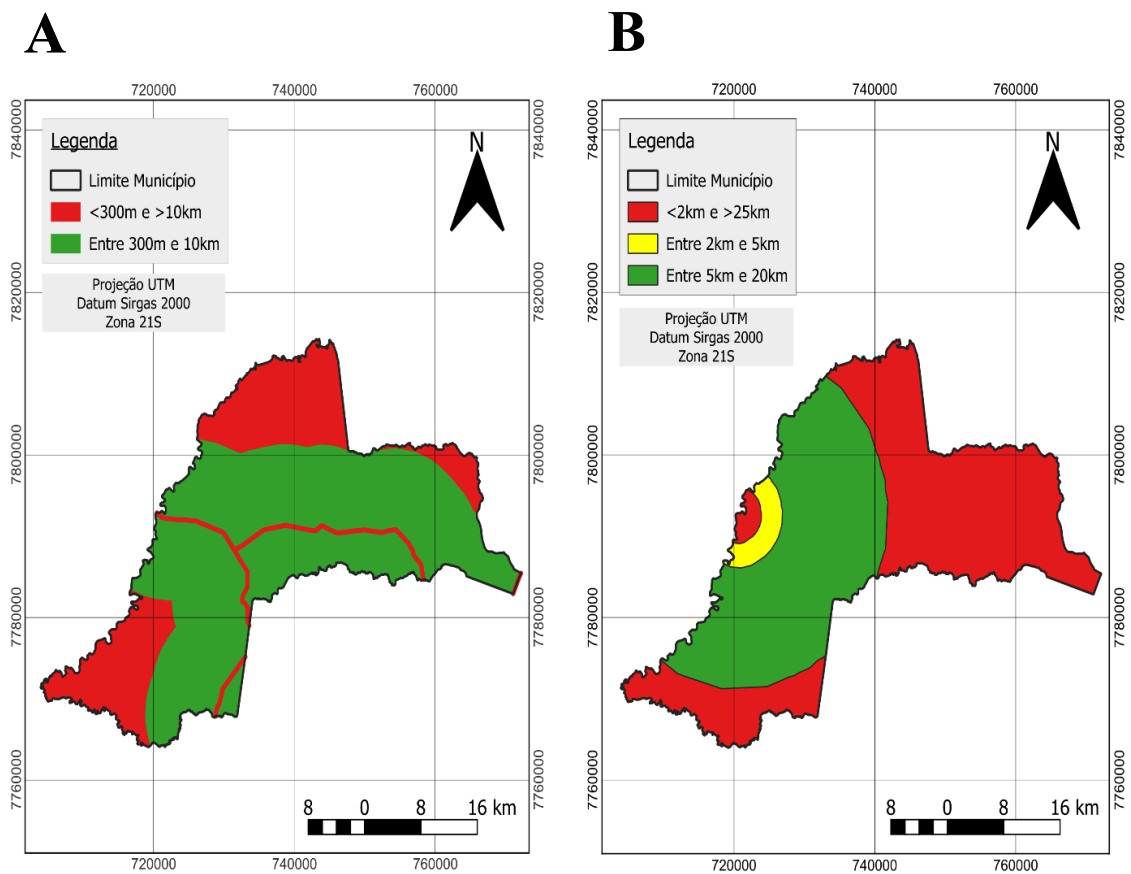


Figura 6 – Mapas de Aptidão Logística. (A): Mapa de Aptidão Logística a partir na Malha Viária. (B): Mapa de Aptidão Logística a partir da Área Urbana.

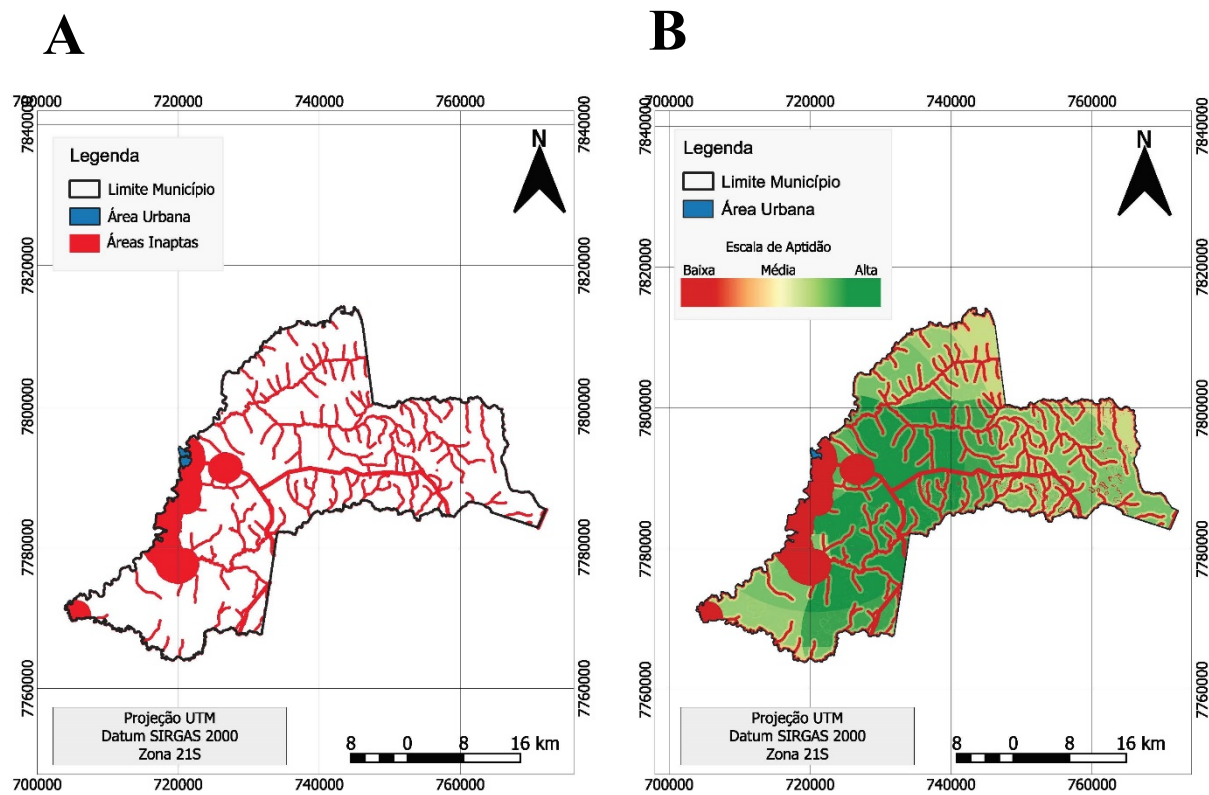


Figura 7 – (A)Mapa de Áreas Restritas. (B) Mapa de Aptidão Geral

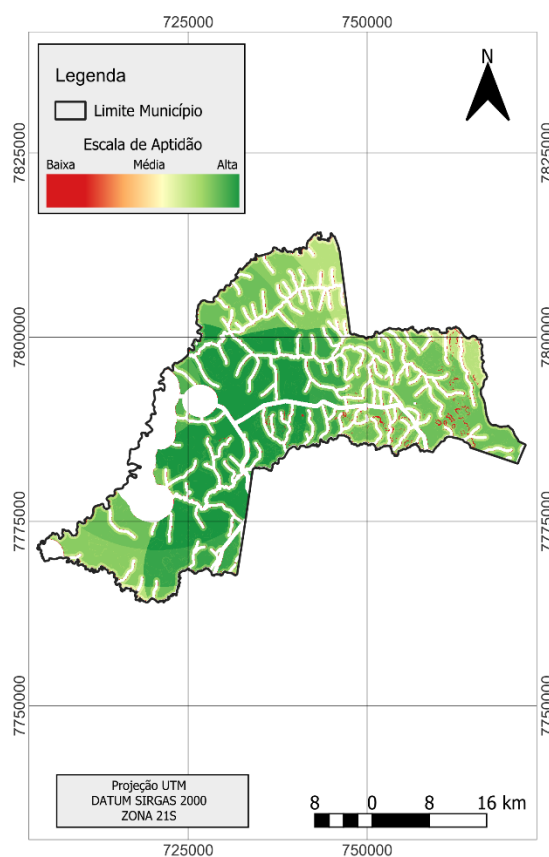


Figura 8 – Mapa final de Aptidão para Instalação de aterro sanitário no Município de Rochedo, MS.

Conclusão

Este trabalho teve como objetivo identificar áreas aptas para a instalação de aterro sanitário no município de Rochedo, Mato Grosso do Sul, por meio de técnicas de geoprocessamento aplicadas em ambiente SIG. A metodologia adotada integrou o uso da Análise Hierárquica de Processos (AHP) para atribuição de pesos aos critérios definidos com base em revisão bibliográfica, seguida da reclassificação dos dados temáticos e combinação das camadas no QGIS por meio de álgebra de mapas.

A análise multicritério espacial realizada neste trabalho permitiu a identificação de áreas aptas à instalação de um aterro sanitário no município de Rochedo (MS), integrando critérios técnicos, legais e ambientais com base em dados públicos geoespaciais. A metodologia adotada, utilizando o software QGIS e a ferramenta Raster Calculator, mostrou-se eficiente na construção de um modelo de apoio à decisão, capaz de indicar zonas com maior ou menor favorabilidade para esse tipo de empreendimento.

O mapa final de aptidão classificou as áreas em quatro categorias, Proibida, Razoavelmente Favorável, Favorável e Muito Favorável, e revelou que 66% do território municipal apresenta boas condições técnicas para a instalação do aterro sanitário, sendo 41% classificadas como “Favorável” e 25% como “Muito Favorável”. As áreas classificadas como “Proibidas” (28%) coincidiram com zonas urbanas, proximidade a corpos hídricos e regiões com declividade acentuada, reforçando a coerência dos critérios adotados.

No entanto, o estudo apresenta duas limitações importantes. A primeira refere-se à inviabilidade de integrar a camada de Reserva Legal ao mapa final, em função de falhas no processamento da base do SICAR

no ambiente QGIS. A ausência dessa camada pode ter superestimado a aptidão de determinadas áreas, classificando como viáveis regiões que, legalmente, são protegidas. A segunda limitação está relacionada à não inclusão da profundidade do lençol freático, por se tratar de uma variável que exige investigação de campo e dados hidrogeológicos específicos, ainda indisponíveis em bases públicas com a resolução necessária.

Adicionalmente, destaca-se que, embora a metodologia baseada em reclassificação e álgebra de mapas tenha sido adequada para os objetivos propostos, o uso da lógica fuzzy poderia representar um aprimoramento metodológico importante em estudos futuros.

A lógica fuzzy é especialmente útil para tratar zonas de transição e incertezas espaciais, comuns em áreas com gradientes ambientais suaves, oferecendo uma abordagem mais sensível e contínua à análise de aptidão.

Dessa forma, conclui-se que os resultados apresentados fornecem uma base técnica preliminar, útil para subsidiar o planejamento ambiental e territorial do município. Recomenda-se que a aplicação prática desses dados seja acompanhada de validação em campo e complementada por estudos específicos, como análises hidrogeológicas, pareceres ambientais e avaliações fundiárias, garantindo assim uma decisão segura, eficiente e ambientalmente adequada para a instalação do aterro sanitário.

Referências

ABREMA – Associação Brasileira Resíduos e Meio Ambiente. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. ABREMA, 2023.

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, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 15 nov. 2024.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS: Relatório de 2022**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/snis>. Acesso em: 22 nov. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos: versão revisada 2022**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agenda-residuos-solidos/plano-nacional-de-residuos-solidos>. Acesso em: 16 nov. 2024.

BRUNA, B. de A. A. et al. Seleção de áreas adequadas para implantação de aterro sanitário intermunicipal no Sudeste Paraense-Brasil, utilizando SIG vinculado ao Método AHP. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, v. 17, n. 1, p. 53–80, 2024. DOI: 10.22201/iingen.0718378xe.2024.17.1.84084. Disponível em: <https://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/84084>. Acesso em: 18 jul. 2025.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; MAGALHÃES, G. C. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. São José dos Campos: INPE, 1996.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, 1996.

CARVALHO, M. B. de et al. **Uso de geotecnologias na seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: abordagem composta aplicada ao município de Mirandópolis, SP**. *Revista de Geociências – UNESP*, v. 38, n. 3, p. 717–729, 2019.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Crêterios para localização de aterros sanitários**. São Paulo: CETESB, 2012.

CHABUK, A. et al. **Combining GIS applications and method of multi-criteria decision-making (AHP) for landfill siting in Al-Hashimiyah Qadhaa, Babylon, Iraq**. *Sustainability*, v. 9, p. 1932, 2017.

COPERNICUS. **Copernicus Digital Elevation Model (DEM) - GLO-30**. Disponível em: <https://spacedata.copernicus.eu/>. Acesso em: 24 out. 2024.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Diretrizes para localização de aterros sanitários no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEAM, 2015.

FELICORI, T. C. et al. **Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 3, p. 547-560, jul. 2016.

GÜLER, D.; YOMRALIOĞLU, T. **Alternative suitable landfill site selection using analytic hierarchy process and geographic information systems: a case study in Istanbul**. *Environmental Earth Sciences*, v. 76, n. 678, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7039-1>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de dados demográficos**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 nov. 2024.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL – IMASUL. *Critérios para pré-seleção de áreas para implantação de aterros sanitários*. Campo Grande: IMASUL, [s.d.]. Disponível em: <https://www.imasul.ms.gov.br/residuos-solidos/>. Acesso em: 10 nov. 2024.

ISLAM, M.; KASHEM, S.; MORSHED, S. **Integrating spatial information technologies and fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP) approach for landfill siting**. *City and Environment Interactions*, v. 7, p. 100045, 2020.

MEDEIROS, J. S. **Identificação de áreas favoráveis à implantação de aterros sanitários entre municípios do Sertão Paraibano**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande/PB.

MONTAÑO, M. et al. **Integração de critérios técnicos, ambientais e sociais em estudos de alternativas locais para implantação de aterro sanitário**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 17, p. 61-70, 2012.

OLIVEIRA, A. A. A. de et al. **Métodos multicritérios para seleção de áreas destinadas a aterros sanitários**. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, v. 14, n. 1, p. 425–440, 2021. DOI: 10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.1.71086.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Perspectivas da População Mundial 2022: resumo executivo**. Nova York: ONU, 2022. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/pd/>. Acesso em: 23 nov. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ROCHEDO. Página economia. 2024. Disponível em: <https://www.rochedo.ms.gov.br/pagina/economia>. Acesso em: 22 nov. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ROCHEDO. Página geografia. 2024. Disponível em: <https://www.rochedo.ms.gov.br/pagina/geografia>. Acesso em: 22 nov. 2024.

SAATY, T. L. **Decision making with the analytic hierarchy process**. *International Journal of Services Sciences*, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SPIGOLON, L. M. et al. **Landfill siting based on optimisation, multiple decision analysis, and geographic information system analyses**. *Waste Management & Research*, v. 36, n. 7, p. 606–615, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X18773538>.

Referência de mapas e bases cartográficas

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos>. Acesso em: 29 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Base cartográfica contínua do Brasil ao milionésimo – versão 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://geoftp.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 abr. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Malha digital do Brasil: território nacional, unidades da federação e regiões**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 15 mai. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Malha Municipal Digital do Brasil: 2023**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/>. Acesso em: 30 mai. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado de Mato Grosso do Sul*. Rio de Janeiro: IBGE,

1983. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=295017>. Acesso em: 29 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pedologia: informações ambientais – downloads. Rio de Janeiro: IBGE, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html?=&t=downloads>. Acesso em: 29 jun. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **MapBiomias – Coleção 8.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil**. São José dos Campos: MapBiomias, 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 30 mai. 2025.

MAPBIOMAS. *Coleção 8.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil (1985–2022)*. São Paulo: MapBiomias, 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

MAPBIOMAS. *Legenda da Coleção 9 – LEGEND CODE v2*. São Paulo: MapBiomias, 2024. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/10/Legenda-Colecao-9-LEGEND-CODE_v2.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.

MATO GROSSO DO SUL. Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul – IMASUL. Plataforma de Informações Ambientais – PIN MS. Campo Grande: Governo do Estado, [2024?]. Disponível em: <https://painel.pin.ms.gov.br>. Acesso em: 30 fev. 2025.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Sistema de Cadastro Ambiental Rural – SICAR. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, [2024?]. Disponível em: <https://www.car.gov.br/>. Acesso em: 05 mar. 2025.

OPENTOPOGRAPHY. Copernicus 30m Global Digital Elevation Model (*GLO-30*). 2020. Disponível em: <https://portal.opentopography.org/rasterOutput?jobId=rt1753329292663>. Acesso em: 15 jan. 2025.