



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Aplicação de Técnicas de Geoprocessamento na Identificação de Áreas com Potencial para Instalação de Aterro Sanitário no Município de Almadina-Bahia

Mikaele do Nascimento Campos. E-mail: mikaelencampos@gmail.com

Rômulo Magno Oliveira de Freitas. E-mail: romulo.freitas@ifrn.edu.br

Alzira Gabrielle Soares Saraiva Souza. E-mail: alzira.souza@ifbaiano.edu.br

Artigo recebido em 23/09/2024 e aceito em 02/12/2025

RESUMO

O estudo para identificação de áreas para a implantação de aterros sanitários compõe importante instrumento de planejamento ambiental, assim é necessário seguir critérios técnicos e restrições normativas. Uma alternativa viável é o uso das tecnologias livres e dados gratuitos. Com o intuito de contribuir para o gerenciamento de resíduos sólidos, esse estudo tem como objetivo realizar a identificação de áreas adequadas para implantação de aterro sanitário no município de Almadina na Bahia. Utilizando o geoprocessamento, através do Sistema de Informações Geográficas (SIG), análise multicritérios e lógica fuzzy. Foram organizadas sete bases georreferenciadas das características da área de estudo, sendo, a distância mínima dos recursos hídricos, das estradas, dos núcleos urbanos, informações da declividade, geologia, solos e uso e cobertura da terra. Aplicou-se pesos para as classes de cada uma das bases, em seguida, definiu-se qual o percentual de importância das variáveis. Assim, foram gerados mapas temáticos identificando a adequabilidade de cada classe, que contribuíram para elaboração do mapa final de adequabilidade, classificadas em cinco classes. Os resultados desse estudo identificaram possíveis áreas para receber um aterro sanitário, e o seu grau de adequabilidade afim de minimizar os potenciais impactos ambientais e socioeconômicos. Pode-se concluir que o município de Almadina, possui áreas adequadas para implantação de um aterro sanitário e que, a ferramenta de geoprocessamento contribui para a redução da subjetividade no processo de decisão em empreendimentos.

Palavras-chave: Resíduos sólidos, SIG, Análise multicritério

Application of Geoprocessing Techniques in the Identification of Areas with Potential for Installing a Sanitary Landfill in the Municipality of Almadina-Bahia

ABSTRACT

The study for the identification of areas for the implementation of sanitary landfills constitutes an important instrument for environmental planning, thus it is necessary to follow technical criteria and normative restrictions. A viable alternative is the use of free technologies and free data. With the aim of contributing to solid waste management, this study aims to identify suitable areas for the implementation of a sanitary landfill in the municipality of Almadina, Bahia. Geoprocessing was used, through the Geographic Information System (GIS), multi-criteria analysis, and fuzzy logic. Seven georeferenced datasets of the study area's characteristics were organized, namely the minimum distance from water resources, roads, urban centers, information on slope, geology, soils, and land use and cover. Weights were applied to the classes of each dataset, and then the percentage of importance of the variables was defined. Thus, thematic maps were generated identifying the suitability of each class, which contributed to the elaboration of the final suitability map, classified into five classes. The results of this study identified potential areas for a sanitary landfill and their degree of suitability in order to minimize potential environmental and socioeconomic impacts. It can be concluded that the municipality of Almadina has suitable areas for the implementation of a sanitary landfill and that the geoprocessing tool contributes to the reduction of subjectivity in the decision-making process for such undertakings.

Keywords: Solid waste, SIG, Multicriteria analysis

Introdução

A disposição final ambientalmente adequada dos RSU, foi apontada pela Lei 12.305/10 denominada Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), de função do poder

municipal (Brasil, 2010), e que pode ser compartilhada, por meio de consórcios intermunicipais para a destinação de aterros regionais (Poague et al., 2018).

De acordo com dispositivos legais, o Brasil está bem amparado enquanto orientações sobre a destinação final dos resíduos sólidos, porém, a violação dessas leis é comum apesar dos inegáveis e importantes avanços que representaram a PNRS, cumprimento efetivo da lei ainda é um grande desafio em razão de múltiplos fatores (Souza, 2022).

As coletas dos RSUs do município de Almadina são direcionadas ao vazadouro municipal, situado a menos de 1km da área urbana. Não cumpre normas técnicas, não há recuperação de recicláveis, coleta seletiva e tampouco há cuidado com o chorume que infiltra no solo. Portanto, há grande potencial de danos ambientais, principalmente pela contaminação dos recursos hídricos do município e das regiões adjacentes.

A disposição incorreta dos RSUs resulta em impactos negativos sobre o ambiente físico, impacta na qualidade de vida, saúde humana e economia, provocam o desequilíbrio do sistema ecológico, podendo oferecer riscos através da poluição hídrica, do solo, do ar, visual, além de ser foco de vetores e endemia (Leite et al., 2018 e Mendes et al., 2020).

Os estudos de Campos et al. (2023) indicaram que a inadequada descarga de resíduos sólidos no vazadouro e a proximidade com a área urbana provocam problemas socioambientais que afetam a comunidade, colocando-a em situação de risco, tais como, poluição, desmatamento e patologias relacionadas ao contato com o vazadouro e pelo consumo de água imprópria para o consumo humano, Van Elk et al. (2022) afirmam que o lixiviado bruto vem carregado de substâncias tóxicas e recalcitrantes, metais pesados, nitrogênio amoniacal, transformando os corpos hídricos em ambientes eutróficos.

Em 2020, foi publicada a Lei Federal 14.026, que atualizou o marco legal do saneamento básico e altera outras leis obsoletas e complementares. Houve uma alteração relacionada ao prazo, fixando o tempo limite para extinção de vazadouros no Brasil até agosto de 2024, de maneira escalonada (Brasil, 2020).

A Norma NBR 8.419/1992 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT define Aterros Sanitários de RSU como uma técnica de disposição no solo, sem causar danos à saúde pública e à segurança, reduzindo os impactos ambientais. Conforme Schmidt (2017), projetos de aterros sanitários, devem seguir a NBR 13.896/1997 para aterros de resíduos não perigosos e a NBR 8.419/1992, que institui as condições mínimas exigíveis. Entretanto, práticas de destinação inadequada ainda são numerosas e estão presentes em todas as regiões do país, com lixões a

céu aberto em pleno funcionamento somam no Brasil 2.774 municípios que possuem disposição inadequada de RSU, no Nordeste esse número é de 515 (Lopes e Silva, 2020; Iglesias, 2021; Abrelpe 2022).

O estudo para identificação de áreas aptas para a implantação de aterros sanitários compõe importante instrumento de planejamento ambiental, e possui alto nível de complexidade, devido a série de critérios técnicos, ambientais e operacionais. Áreas adequadas para implantação desse tipo de projeto estão escassas, decorrentes, da expansão urbana desordenada (Medeiro et al., 2022). Diante disso, uma alternativa viável é o uso das tecnologias livres e dados gratuitos (Munaro e noernberg, 2023) técnicas de dimensionamento da produção de RSU e geoprocessamento mostraram-se eficazes para a identificação de áreas ideais para tal fim (Cardoso et al., 2021).

Estudos realizados por Weber e Hasenack (2000); Calijuri et al. (2002); Gomes et al. (2017); Schmidt (2017); De Oliveira et al. (2021) e Munaro e Noernberg (2023) utilizaram técnicas de geoprocessamento como proposta metodológica para identificação de áreas adequadas para a instalação de um aterro sanitário afirmando que podem auxiliar na realização de avaliações territoriais complexas.

Essa temática tem ganhado destaque em estudos de cartografia geotécnica e geoambientais, por demandar conhecimento da distribuição espacial de dados e atributos do meio físico, além de ser relevante nos aspectos socioeconômicos e operacionais. Assim, Montañó et. al. (2012) propôs a integração dos critérios técnicos, ambientais e sociais em estudos de alternativas de localização de aterros sanitários.

O uso dos métodos integrados com o intuito de localizar áreas para destinação adequada de resíduos, tem sido bastante utilizada em todo o Brasil, Felicori et al. (2016) empregou a técnica em Minas Gerais, Boin et al. (2022) em São Paulo, Souza (2022) et al. na Bahia. A partir da combinação das variáveis ambientais, sociais e econômicas foi obtido o produto cartográfico final, que designa as melhores áreas de construção desses locais de disposição de resíduos,

O uso das geotecnologias por intermédio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), realiza a integração e análise de dados espaciais, por meio de modelos matemáticos, dentre os métodos mais utilizados em análises multicritério estão as abordagens booleana e fuzzy (Lopes e Silva, 2020), auxiliando a tomada de decisão de forma confiável e ágil, assim, apresentam grande potencial para este tipo de análise (Calijuri, 2002; Schmidt, 2017; Souza, 2022).

Estudos dessa natureza podem ser replicáveis pelo baixo custo e potencialidade, fornecem suporte para discriminar áreas potenciais para instalação de aterros, de maneira rápida e eficiente. Assim, a utilização das geotecnologias possui grande importância para gestões públicas,

Material e Métodos

Área de estudo

O município de Almadina está localizado no estado da Bahia (Figura 1), território de identidade Litoral Sul, microrregião de Ilhéus-Itabuna. Está entre as coordenadas 14° 42' 19" S e 39° 38' 14" W, com área total de 245,236 km² e população de 5.219 habitantes, desse total (mais de 80%) reside na zona urbana, o índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é de 0,563 (IBGE, 2010, 2023).

Situado no bioma Mata Atlântica, o município de Almadina possui cobertura vegetal secundária, correspondente a floresta ombrófila densa, a área do está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Almada, como principal rede de drenagem, e em menor extensão integra as Bacias do Rio do Ouro e Bacia do Rio Pontal do Sul (IBGE, 2020;

principalmente para municípios pequenos (Lopes e Silva 2020; Souza 2022).

Com o intuito de contribuir para o planejamento e o gerenciamento dos resíduos sólidos municipais, esse estudo tem como objetivo identificar áreas adequadas para implantação de aterro sanitário no município de Almadina Bahia. BRASIL 2020). Conforme a classificação climática de Koppen, o clima predominante no município de Almadina é o tipo tropical chuvoso de floresta, a média anual de temperatura de 22,6°C, e 1198 mm de pluviosidade média anual (SEI, 2018).

A geração de resíduos sólidos, numa projeção a partir da demanda de limpeza, segundo dados do (Brasil, 2020), é que Almadina pode produzir no ano corrente 0,42 kg/hab/dia, numa projeção até 2040, com a crescente de 0,01 kg/hab/dia. A prestação de serviço de limpeza pública no município é realizada pela prefeitura, atualmente a destinação final dos resíduos urbanos é feita de forma irregular no vazadouro municipal, as margens da BA 262, exceto os resíduos especiais a exemplo os da saúde, sendo a coleta realizada por uma empresa especializada, os resíduos sólidos rurais não são coletados, a destinação final é a queima.



Figura 1. Localização do município de Almadina, Bahia, Brasil.

Procedimentos metodológicos

Para alcançar os objetivos propostos nesse estudo, a pesquisa foi dividida em três etapas (Figura 2) utilizando o geoprocessamento, através do Sistema de Informações Geográficas (SIG) por meio do software Quantum GIS (QGIS) versão 3.22 'Białowieża' da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo), seguindo critério múltiplo que considera a avaliação das condições ambientais da área, e aspectos legislativos.

Na primeira etapa, realizou-se o levantamento da base cartográfica do município e

elaboração do banco de dados, para identificação das áreas aptas para a implantação do aterro sanitário. Os dados foram obtidos em diversas fontes, com projeções e formatos diferentes (Tabela 1) sendo necessário realizar a padronização dos dados, os arquivos digitais foram reprojetados para o Sistema de Referência Geodésico para América 2000- SIRGAS 200, UTM (fuso 24Sul).

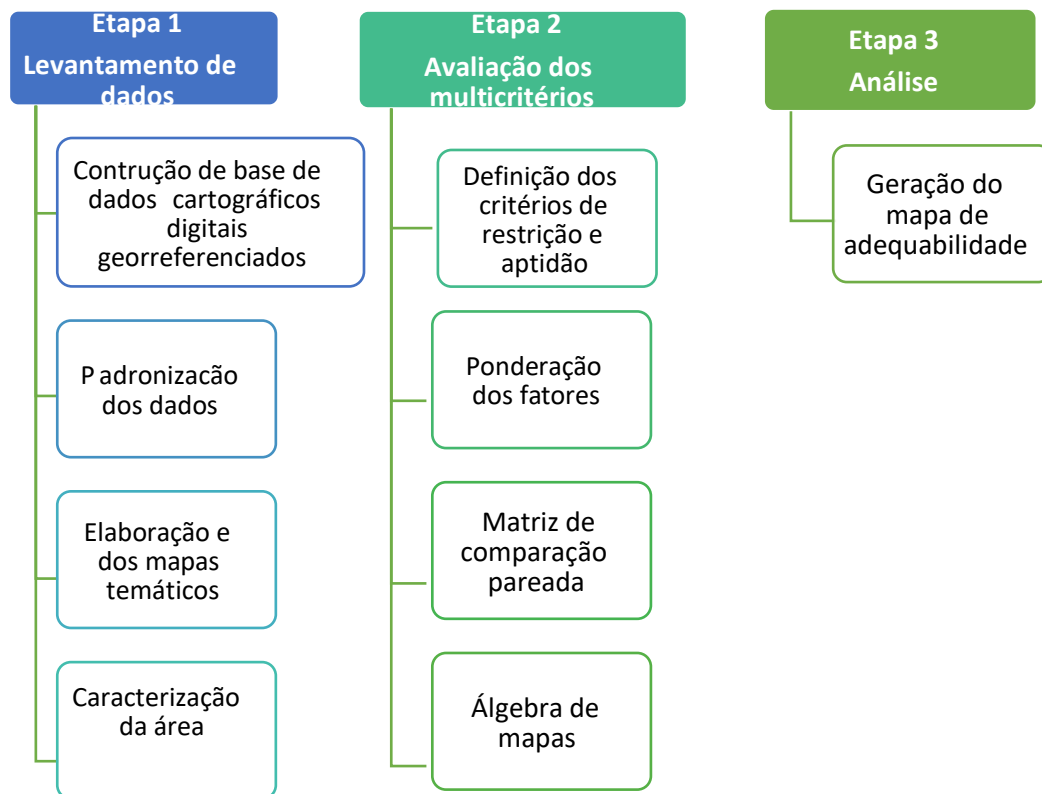


Figura 2. Fluxograma das etapas metodológicas.

Para a segunda etapa, avaliação dos multicritérios, buscou informações de cunho legislativo e critérios restritivos para a instalação do aterro sanitário a partir disso foi feita a avaliação dos dados, de acordo com as metodologias Schmidt (2017) e Medeiro et al. (2022). Conforme os autores supracitados, projetos de aterros sanitários, devem seguir leis ambientais vigentes, a exemplo da a norma NBR 13.896/1997 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, para aterros de resíduos não perigosos que institui as condições mínimas exigíveis.

A última etapa corresponde a álgebra de mapas, reclassificação dos dados atribuindo valores. Para essa etapa, os arquivos que estavam

no formato matricial, como o de geologia e solos e estradas foram transformados em raster para melhor manipulação dos dados em conjunto, os demais já estavam no formato raster. Assim, essa manobra visa simplificar cálculos e uniformizar parâmetros na análise multicritério (Lira et al. 2022).

Para reclassificação dos dados utilizou-se a Lógica Fuzzy, com base em parâmetros pré-estabelecidos encontrados na legislação e previsto em Schmidt (2017) e Medeiro et al. (2022). Assim, cada classe de cada uma das informações recebeu uma nota, gerando mapas temáticos reclassificados e que foram utilizados na álgebra de mapas. Para cada classe analisada, atribuiu-se pesos segundo o

grau de importância à instalação de um aterro sanitário (Tabela 2).

Tabela 1. Fonte dos dados utilizadas na pesquisa.

Base Cartográfica	Fonte	Escala/ Resolução Espacial	Ano
Limite Municipal	IBGE	1:250.000	2021
Hidrografia	Planet	5m	2023
Rodovias e Estradas	Planet	5m	2023
Núcleo Urbano	Planet	5m	2023
Declividade	Planet	5m	2023
Geologia	IBGE	1:250.000	2021
Solo	IBGE	1:250.000	2021
Uso e Cobertura da terra	MapBiomias (Coleção 7)	30m	2021

O critério para se estabelecer as notas, se deram a partir da metodologia adaptada de Schmidt (2017), utilizada para preencher a matriz de comparação dos pareada, efetuando o julgamento comparativo sempre entre duas bases, determinando qual tem maior importância,

necessária para obter-se como resultado o percentual de importância que cada uma das bases tem em relação ao objetivo do estudo e assim calcular os pesos.

Tabela 2. Matriz de comparação pareada do método AHP, com as sete classes utilizadas.

	Declividade	Geologia	Solos	Hidrografia	Uso e Cobertura	Rodovias	Núcleos Urb.
Declividade	1,00	2,00	2,20	2,40	2,80	3,40	2,80
Geologia	0,50	1,00	2,40	1,90	2,80	3,20	3,20
Solos	0,45	0,42	1,00	2,60	3,20	3,00	3,40
Hidrografia	0,42	0,53	0,38	1,00	3,00	3,00	3,40
Uso e Cobertura	0,36	0,36	0,31	0,33	1,00	1,90	2,80
Rodovias	0,29	0,31	0,33	0,33	0,53	1,00	2,20
Núcleos Urb.	0,36	0,31	0,29	0,29	0,36	0,45	1,00

Percebe-se que o critério declividade foi considerado o mais importante, atribuindo-se o peso de 0,229, seguido dos fatores geologia e solos,

conferindo valores de 0,207 e 0,194, respectivamente. Por outro lado, constata-se que o fator núcleos urbanos foi julgado como menos importante, com nota de 0,042 (Tabela 3).

Tabela 3. Pesos de importância atribuídos para as classes em análise

Classes	Pesos
Declividade	0,229
Geologia	0,207
Solos	0,194
Hidrografia	0,162
Usos e cobertura da terra	0,097
Rodovias	0,069
Núcleo urbano	0,042

Assim, por meio da ferramenta calculadora raster do QGIS 3.22, foi realizado uma álgebra de mapas, usando os percentuais de importância definidos na etapa anterior. A equação final é o somatório dos produtos entre os pesos e valores padronizados de cada uma das sete variáveis.

$$\begin{aligned}
 & ("HIDROG_reclass@1" * 0.162) + \\
 & ("N_URB_reclass@1" * 0.042) + \\
 & ("RODOVIAS_reclass@1" * 0.069) + \\
 & ("USO_COBERT_reclass@1" * 0.097) + \\
 & ("decliv_reclass_@1" * 0.229) + \\
 & ("geologia_reclass@1" * 0.207) + \\
 & ("pedologia_reclass@1" * 0.194)
 \end{aligned}$$

O resultado é um mapa da adequabilidade para a implantação do aterro sanitário. Mapa é produto técnico que aliado a tecnologia, apresenta confiabilidade de dados e fidedignidade nas representações, constituindo assim protagonismo incontestável no que tange o planejamento, análise e gestão ambiental, podendo ser associado a uma gama de processo, a exemplo, a identificação de áreas para a construção de um aterro sanitário, .Zuquette e Gandolfi (2004) consideram o termo mapa como documento cartográfico que pode ser utilizado em múltiplas finalidades, com informações variadas que são passíveis de validação para atestar a qualidade e veracidade das informações.

Resultados e discussão

Mapas temáticos

Os mapas temáticos expostos abaixo, são o resultado das informações das bases de dados com aplicação da análise de multicritério de sobreposição ponderada, assim estão identificadas a adequabilidade de cada classe em função dos sete critérios especificados, utilizados para determinar áreas potenciais para instalação de um aterro.

Segundo o (IBGE 2021), a área do município de Almadina está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Almada, onde encontra-se a nascente. Também estão presentes no, além do rio Almada, Rio Pontal do Sul, Ribeirão Deus me livre e Ribeirão Salomé, o município possui uma vasta rede de drenagem repleta de nascente. A adequabilidade máxima foi atribuída à classe > 900m, representado no mapa em verde (Figura 3). Esse resultado corrobora com De Oliveira et al. (2021) e Medeiro et al. (2022), onde aponta que as áreas localizadas em distâncias superiores a 1000 metros possuem aptidão máxima por oferecer menor risco de contaminação aos recursos hídricos.

Valores entre 0 e 200 metros consideram-se restritos aumentando a adequabilidade linearmente, quanto maior a distância dos recursos hídricos, maior é a aptidão, evidenciado por (Calijuri et al., 2002; Ferreira Alves e Ribeiro da Silva, 2020 e Souza, 2022). Posto isso, é imprescindível que haja a impermeabilização do solo e implantação de sistemas de drenagem para todos os líquidos gerados, no local onde será implantado o aterro sanitário, evitando assim possíveis contaminações aos recursos hídricos (De Oliveira et al. 2021).

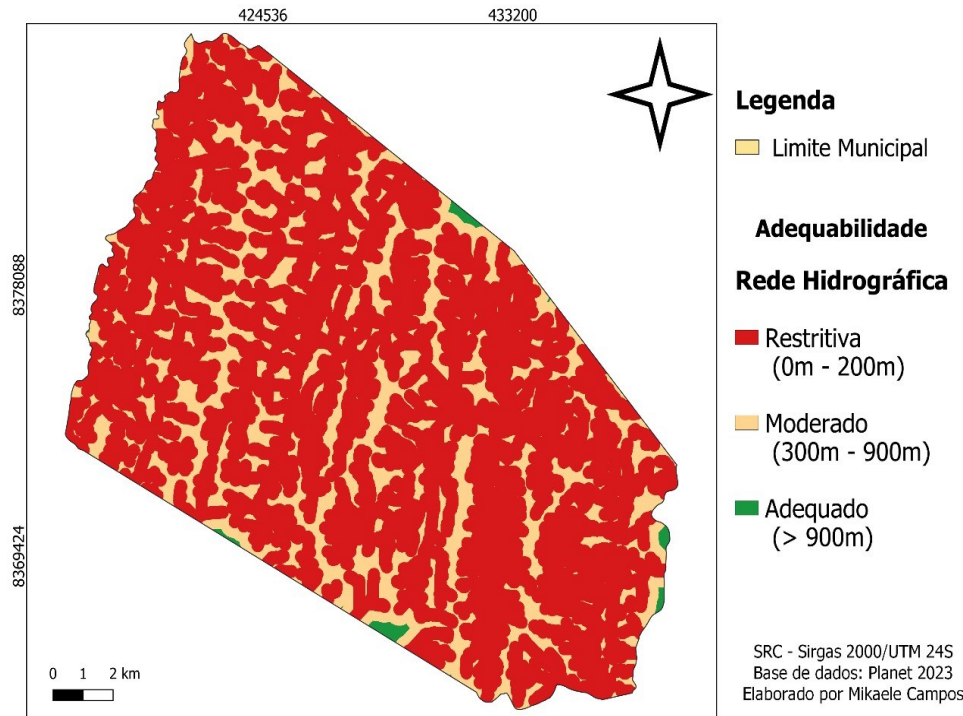


Figura 3. Mapa de adequabilidade para instalação do aterro sanitário em função da distância dos recursos hídricos do município de Almadina-Ba.

Para o aspecto distância das rodovias, Schmidt (2017), Calijuri et al. (2002) e a norma NBR 13.896/1997, consideram restrito valores entre 0 a 200 metros e maiores que 700 metros, (Figura 4) os aterros sanitários não devem estar muito próximos ou muito distantes de rodovias

A distância adequada das rodovias, segundo Souza et al. 2022, podem haver vantagens logísticas na operação e minimizar o custo do transporte, distancias entre 500 metros a 4000 metros, são apropriadas. Evidencia-se em Aramaki et al. 2022 que as condições das vias de acesso são fatores importantes em um projeto de aterro,

indispensável que haja boa condição de tráfego com vias de acesso pavimentadas e bem sinalizadas que possa garantir uma operação segura. As rodovias estaduais de acesso ao município de Almadina são as BA 262 e a BA 660, que possui baixa densidade, a primeira está em processo de pavimentação e a segunda é pavimentada, porém apresenta condições precárias em vários trechos (IBGE, 2021).

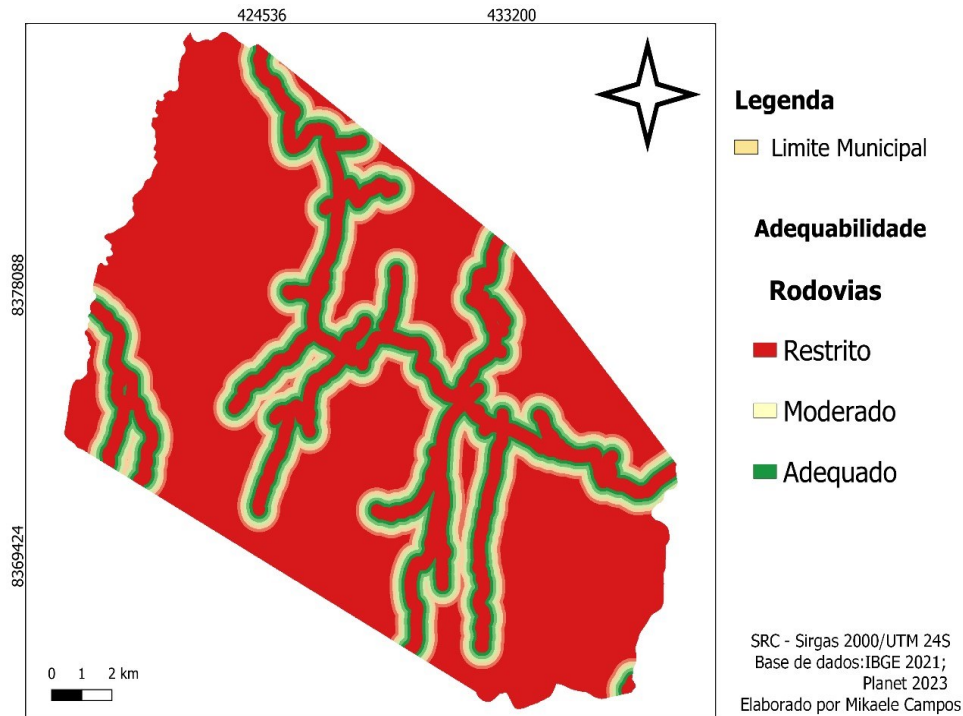


Figura 4. Mapa de adequabilidade para instalação do aterro sanitário em função da distância das rodovias do município de Almadina-Ba.

Para as distâncias de núcleos urbanos, a norma NBR 13.896/1997, Schmidt (2017) e Dutra et al. (2019) apontam que deve ser cumprida uma distância mínima de 500 metros, nesse caso essas áreas receberam o valor de 0, ou seja, restritivo. A partir de 500 metros a aptidão recebeu valor máximo e conforme a Figura 5.

A distância apropriada dos núcleos urbanos, de acordo estudos de Medeiro et al. (2022), reforça a atenção na questão econômica e de uso do espaço, além disso, pode prevenir impactos ambientais como a alteração da paisagem natural da área e o aumento de odores desagradáveis no entorno destes locais.

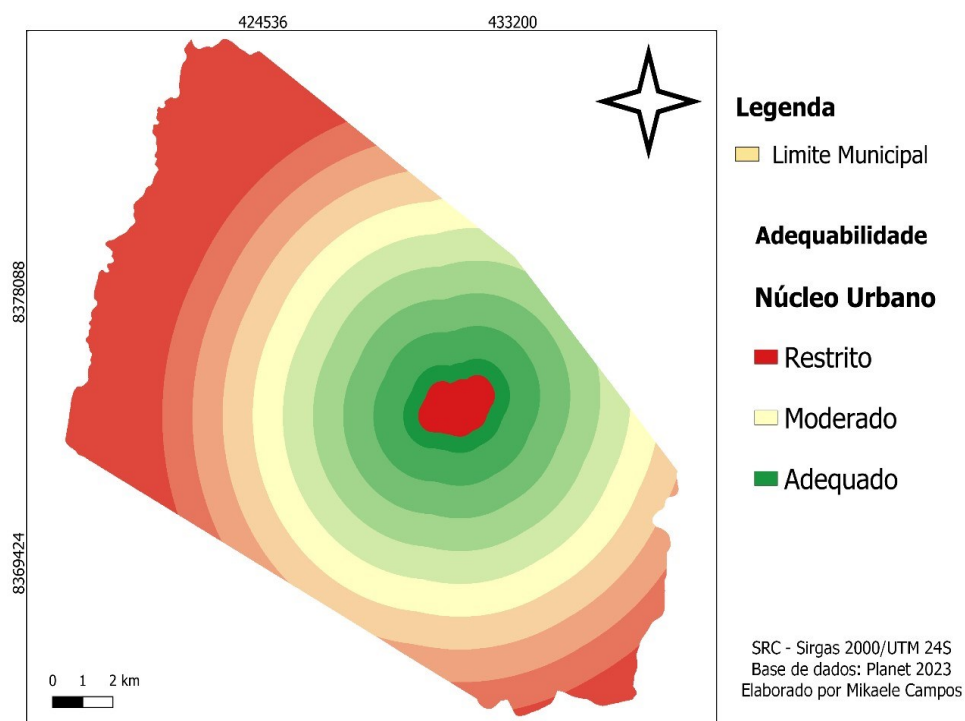


Figura 5. Mapa de adequabilidade para instalação do aterro sanitário em função da distância do núcleo urbano do município de Almadina-Ba.

No quesito declividade, as áreas que apresentam maior adequabilidade possuem características mais planas, e as com menor aptidão tem declive mais acentuados, representadas na Figura 6. A declividade é um dos fatores mais relevantes na seleção do local apto para tal empreendimento, Aramaki et al., 2022, afirma que existe uma relação entre o relevo e o aumento dos problemas ambientais, sendo assim os locais com declividade superior a 1% e inferior a 30% são os mais recomendados.

Para Ferreira Alves e Ribeiro da Silva (2020), as áreas mais declivosas não são indicadas para a construção de aterros sanitários, por requerem altos custos na construção e na manutenção, sendo assim formam inaptas. É possível observar na Figura 6 que a maior parte da área do município de Almadina, apresenta relevo com altitudes acima de 45%, com o valor restrito, oposto aos resultados de Felicori et al. (2016); Poague (2018); Lopes e Silva (2020); Cardoso et al. (2021); Aramaki et al. (2022), no qual aponta que os municípios estudados possuem relevo com altitudes adequadas.

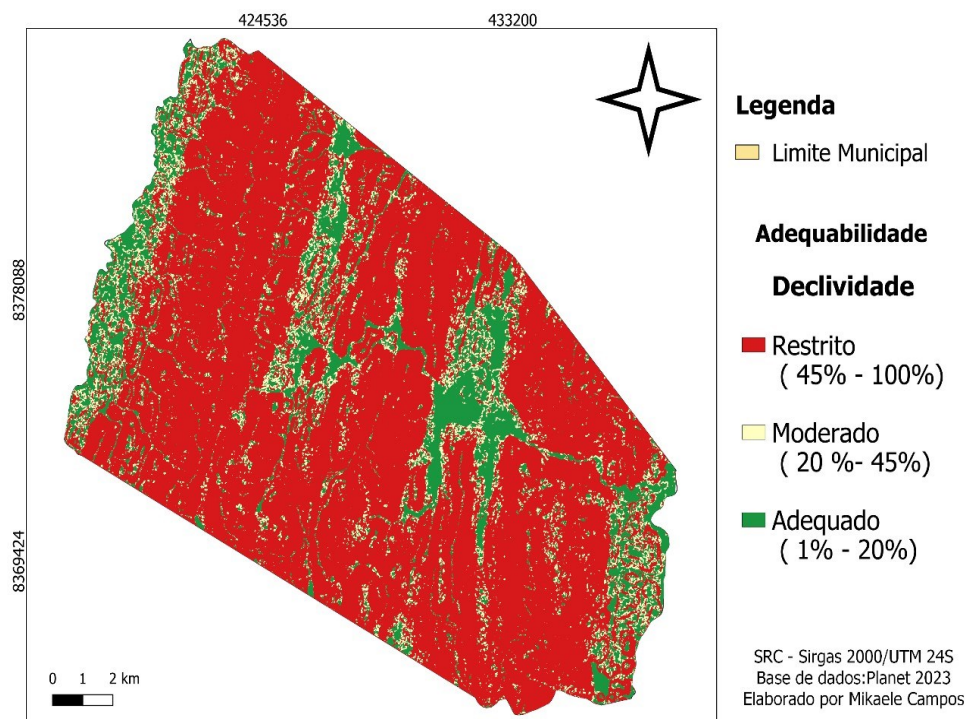


Figura 6. Mapa de adequabilidade para instalação do aterro sanitário em função da declividade do município de Almadina-Ba.

Em conformidade com Vieira et al. (2024), a aptidão das camadas geológicas, são fatores importantes que condicionam fortemente a infiltração da água, reduzindo desta forma a possibilidade dos lixiviados contaminarem o ambiente nas áreas que possam ser implantados aterros sanitários. Os perfis litológicos do substrato rochoso do município de Almadina pertence ao tempo geológico Arqueano Mesoarqueano e a província geológica São Francisco, subprovíncia Jequié- Curaça (IBGE, 2021).

As unidades geológicas presentes no município, são Almadina e Ibicaraí Fácies 2 e 3, compreendem rochas granulíticas intermediárias e ácidos de natureza de calcário-alcalina (Figura 7).

A unidade Almadina é composto por granulitos paraderivados contendo principalmente quartzitos, compreende cerca de 27% da área do município. De acordo com Franco (2010), são encontrados granulitos e quartzitos e bandas metabásicas intercaladas. Está inserido no bloco Itabuna e ocorre apenas no município de Almadina na direção oeste. O Complexo Ibicaraí, pertence ao conjunto de rochas gnáissicas granulitizada, de composição tonalítica. As fácies 2 e 3 desse complexo apresentam os enderbitos e os metatonalitos, respectivamente, ocupam 72 % da área do município (IBGE 2021).

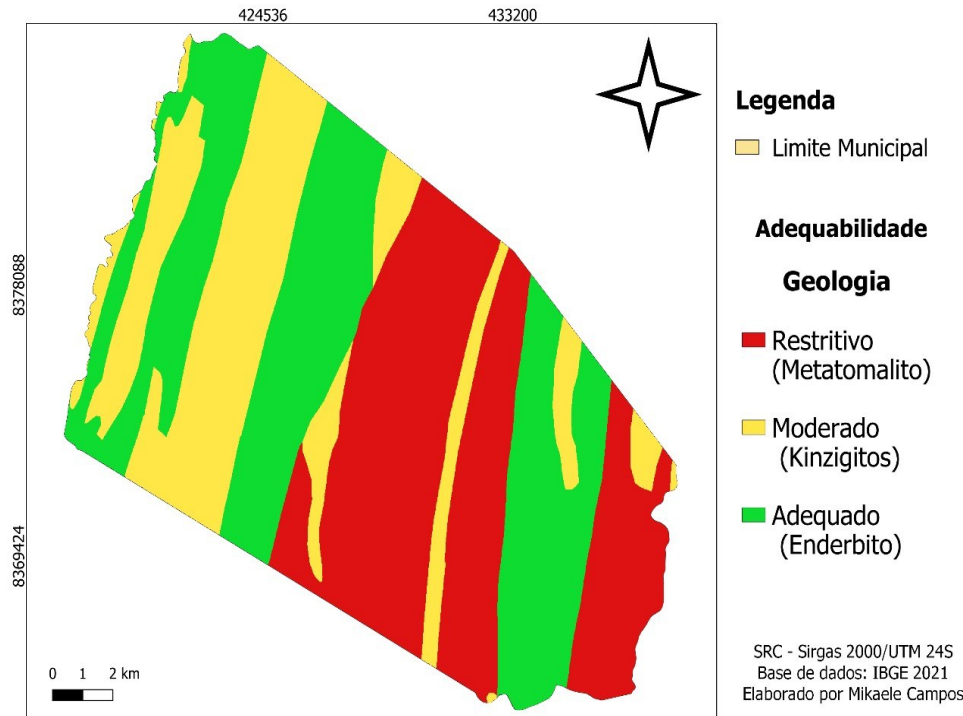


Figura 7. Mapa de adequabilidade para instalação do aterro sanitário em função da geologia do município de Almadina-Ba.

A caracterização geotécnica do granulito, presente nas unidades da área de estudo, conforme Gomes et al. (2017) possui relevância moderado. Assim o valor atribuído a esse fator possui similaridade.

As classes de solos com maior representatividade encontradas na área de estudo, são Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd), e os Chernossolo Argilúvico Órtico (MTk), correspondem a aproximadamente 68% da área, para projetos de engenharia como aterros sanitários, segundo Gomes et al. (2017) possui adequabilidade moderada quanto, textura predominantemente argiloarenosa.

Entre os solos existentes no município de Almadina, os argissolos correspondem a classe adequada para a instalação da infraestrutura supracitada, Iglesias (2021), aponta que os argilosos são considerados aliados para a

impermeabilização de base, podendo minimizar o impacto ambiental por uma infiltração. Os chernossolos são moderados por serem solos pouco profundos, mas não apresentam restrições quanto ao uso e a classe menos adequada são os Luvisolo Crômico pálico (Tck), considerados restritos, devido a limitações de uso, relacionado ao horizonte superficial que pode ser pedregoso (Embrapa, 2022) (Figura 8). Os Argissolo Vermelho-Amarelo, tal como os estudos de Poague et al. (2018) receberam o grau máximo de adequabilidade.

Em linha com Medeiros et al. (2023), o solo que recebe rejeitos precisa possuir impermeabilidade natural para reduzir as possibilidades de contaminação. A NBR 13.896/97 destaca que o solo tem que possuir uma baixa velocidade infiltração.

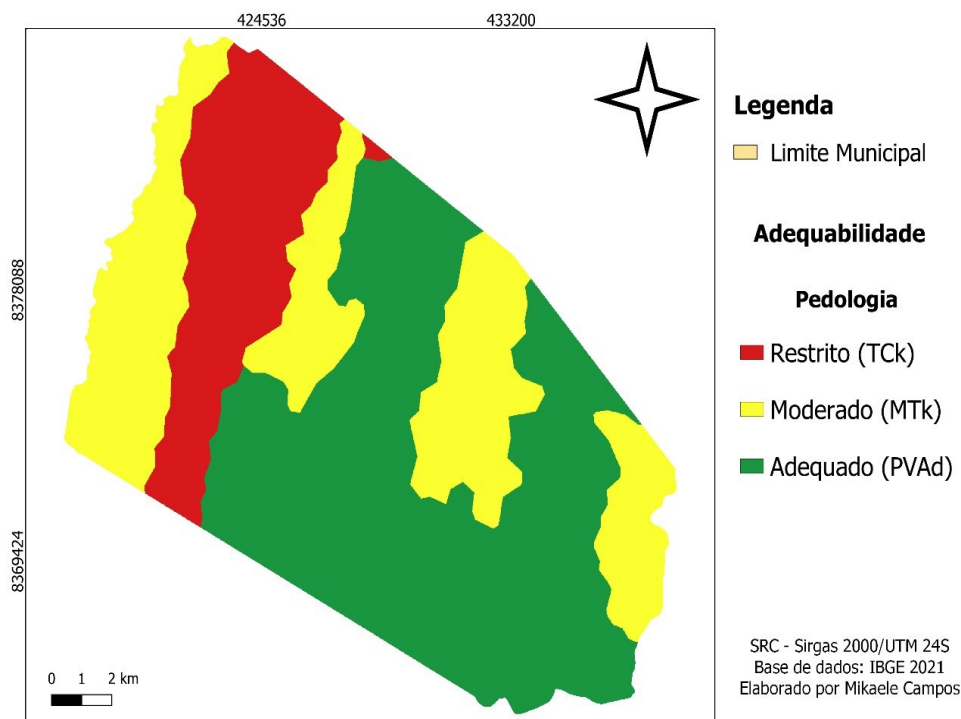


Figura 8. Mapa de adequabilidade para instalação do aterro sanitário em função dos solos do município de Almadina-Ba

O município está situado no bioma Mata Atlântica, a cobertura vegetal presente apresenta características de vegetação secundária, representa 51% da área. As pastagens, voltada para criação de bovinos estão presentes no município, principalmente no lado oeste, representam aproximadamente 34%, e a agricultura consorciada com a pecuária representa 14 % do território (Figura 9).

Nas classes de adequabilidade as áreas com vegetação representam adequabilidade Moderada

de acordo com a norma (NBR 13.896/97), a vegetação, esta deve ser considerada para atuar favoravelmente aos aspectos de redução do fenômeno de erosão já as áreas de pastagem foram julgadas com adequadas. Da mesma forma que os estudos de Ferreira Alves e Ribeiro da Silva (2020) e Aramaki (2022), as formações relacionadas a agropecuária presente no município, receberam a maior nota sendo consideradas áreas aptas a construção de um aterro sanitário, áreas devolutas ou pouco utilizadas, ou áreas já desmatadas, também foram indicadas.

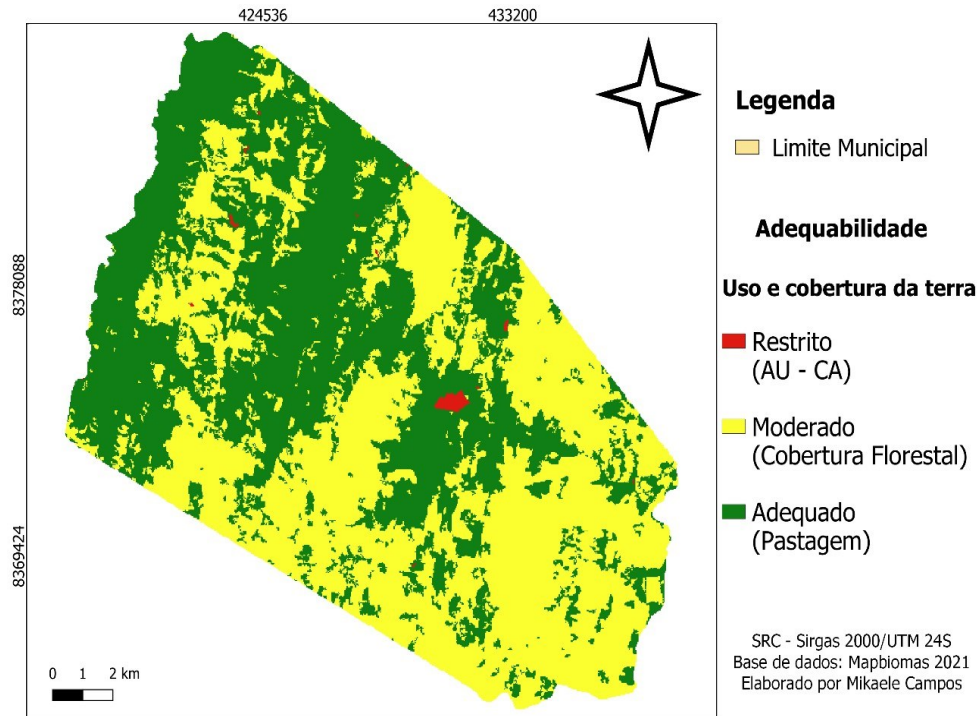


Figura 9. Mapa de adequabilidade para instalação do aterro sanitário em função dos usos cobertura da terra do município de Almadina-Ba

Corroborado por Poague et al. (2018), os aterros sanitários devem ser construídos em locais de solo exposto, para minimizar impactos

ambientais e custos relativos à implantação, área urbana (AU) e corpos d'água (CD) são consideradas restritos.

Mapa de adequabilidade

Após a estruturação e padronização dos mapas temáticos e dos fatores utilizados para definição das áreas aptas para instalação de aterro sanitário, por meio da multiplicação dos mapas ponderados foi possível obter um mapa final no qual são sinalizadas áreas, classificadas em cinco classes de adequabilidade

De acordo com os pesos e critérios adotados foi gerado o mapa final, o qual foi categorizado nas classes: Muito baixa, Baixa, Moderada, Alta, Muito Alta, classificadas de acordo com o grau de adequabilidade (Figura 10). Na Tabela 4, é possível observar o tamanho da área correspondentes a cada classe.

A melhor escolha corresponde às áreas com a adequabilidade muito alta, que representa um valor total de extensão de 2 hectares com uma porcentagem de 8% do total da área do município. A glebas dessa classe estão distantes de recursos hídricos, possui adequada distâncias de rodovias, relevo plano, e uso do solo para a maioria das áreas para pastagem.

As mesmas condições de adequabilidade favoráveis foram evidenciadas em Medeiro et al. (2022), áreas onde a classe de uso do solo corresponde a pastagem, que causaria menos impactos ambientais como o desmatamento e com declividade com valores baixos, visto que altas declividades favorecem erosão e deslizamento de solo, não sendo indicadas para aterros sanitários na NBR 1896/97, é recomendo que a declividade seja superior a 1% e inferior a 30%.

A classe de adequabilidade alta, representa 17% do território o que corresponde a pouco mais de 4 hectares, essas áreas potencialmente favoráveis para a implantação de um aterro, contém os solos com maior potencial de retenção de lixiviado, proximidade das vias de acesso trafegáveis e distanciamento considerável dos rios. Do mesmo modo que Iglesias (2022), as áreas aptas há a maior concentração de critérios favoráveis e áreas potencialmente perigosas distante dos rios.

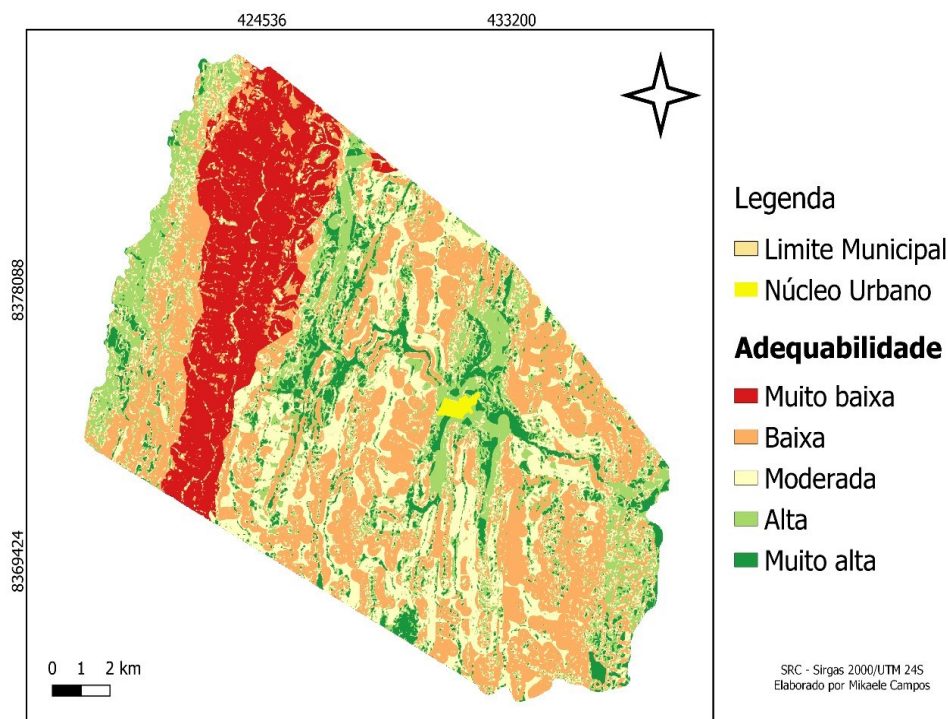


Figura 10. Mapa de adequabilidade do município de Almadina-Ba

As áreas moderadas correspondem a 25% do terreno do município e compreende um pouco mais de 6 hectares, valor similar foi encontrado por Aramaki et al. (2022) ao verificar a adequabilidade das áreas do município de Divinópolis, Minas Gerais. Essas áreas possuem proximidade considerável com os recursos hídricos, e algumas delas estão no entorno da área urbana, inviabilizando a construção de aterro, apesar de conterem características ideais de declividade, porém não devem ser utilizadas para tal fim.

As áreas que apresentam adequabilidade muito baixa e baixa, estão situadas em maior extensão na porção oeste do município, onde a declividade é acentuada com características montanhosas, vastas ramificações da rede hidrográfica, com vias de acesso difíceis, e distante

da fonte geradora, e presença de solo permeável, embora com baixa densidade de vegetação. Juntas essas áreas somam cerca de 50%, equivalente a 12 hectares. Tal qual, Lopes e Silva (2020), as regiões de menor adequabilidade também apresentam alto grau de fragilidade, distância elevada das estradas e manchas urbana se tornando áreas economicamente inviáveis.

O terreno em que a classe de adequabilidade muito baixa se encontra possui relevo mais acidentado e o tipo de solo classificado como Luvisolo, que do ponto de vista geotécnico, segundo Gomes et al., (2017) são considerados moderados. De acordo com a Embrapa (2022) são solos naturalmente permeáveis e com pedregosidade na superfície, o que pode limitar a mecanização.

Tabela 4. Classes de adequabilidade por área e porcentagem.

Classe	Hectare (ha)	Porcentagem (%)
Muito Baixa	3.600,12	15%
Baixa	8.599,44	35%
Moderada	6.021,21	25%
Alta	4.208,01	17%
Muito Alta	2.007,38	8%
Total	24.378,41	100%

Do ponto de vista de Iglesias (2021), locais aptos a receber um aterro devem se ater a declividade, por ser fator limitante, estando ligado diretamente ao grau do escoamento superficial e susceptividade à erosão, que a distância entre as estradas e área urbana seja preservada, mantendo a população longe de odores, insetos e vetores de

doenças, além da poluição visual, e que seja mantida a distância mínima de 200m dos corpos hídricos, já que os aterros estão suscetíveis a possíveis vazamentos de chorume, que pode infiltrar no solo e chegar aos rios, contaminando-os.

Conclusão

Os resultados desse estudo identificaram possíveis áreas para receber um aterro sanitário, e também o seu grau de adequabilidade afim de minimizar os potenciais impactos ambientais e socioeconômicos. O atual depósito de resíduos do município de Almadina não está de acordo com o que está definido na lei, se encontra em área inadequada para a deposição de RSU, gerando impactos negativos a população residente nas proximidades.

Pode-se concluir que o município de Almadina, possui áreas adequadas para implantação de um aterro sanitário e que, a ferramenta de geoprocessamento contribui para a redução da subjetividade no processo de decisão em empreendimentos desse tipo, por ser de baixo custo e fácil operabilidade, possibilitando aos profissionais técnicos, testar as áreas indicadas pela metodologia, validando a partir de visita técnica podendo corroborar as informações.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, pela bolsa concedida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

Ao grupo de Estudo em Geoprocessamento do IFbaiano Campus Uruçuca.

Referências

ABRELPE (2022). Panorama 2021 São Paulo
Aramaki, R. M., Pereira, D. P., & Santos, A. S. dos. (2022). Técnicas de análise espacial na identificação de áreas aptas para a implantação de um aterro sanitário no município de Divinópolis, Minas Gerais. *Caminhos de Geografia*, 23(86), 170–188.
ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma NBR-13.896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro; 1997.

Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm.

Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm.

Boin, M. N., Nunes, J. O. R., Tomazini, L. da S., & Okado, M. N. A. (2022). Identificação de áreas potencialmente favoráveis para a destinação ambientalmente adequada de resíduos sólidos. *Caminhos de Geografia*, 23(85), 137–156.

Calijuri, M. L., Melo, A. O., & Lorentz, J. F. (2002). Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. *Informática Pública*, 4, 231-250.

Cardoso, E. C., Blanco, C. J. C., & Friaes, E. P. P. (2021). Seleção de áreas para a construção de aterros sanitários em pequenos municípios da Amazônia *Revista GeoAmazônia*, 9(18), 83-98.

Campos, M. do N., Souza, A. G. S. S., & Freitas, R. M. O. de. (2024). Geoprocessamento aplicado a análise dos aspectos geoambientais do município de Almadina- Bahia. *Revista De Geografia*, 41(5), 30–49. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2024.262222>

Costa, C. W.; Lorandi, R.; Serikawa, V. S.; Ferreira; T. S. Stanganini, F. N.; Neto, P. S. G.; Lollo, J. A. de. (2019, janeiro-abril). Multicriteria

Analysis Applied to the Selection of Areas for the Construction of Sanitary Landfills in the Ribeirão do Meio Basin (Leme, SP), at 1:50,000 scale. *Sociedade & Natureza*, 30(1), 205-227.

De Marcos, L.B.G, Borges, L.A.C, Alves, M. de C., & Delfino, R.T (2022). Uso de geotecnologias na seleção de áreas propícias para implantação de aterro sanitário em Lavras-

- MG. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, 8 (3), 22434–22452. Disponível em <https://doi.org/10.34117/bjdv8n3-440>
- De Oliveira, A. A. A., da Silva Corrêa, S., Mariano, M. O. H., Bezerra, S. D. T. M., & Coelho, I. C. L. Métodos Multicritérios Para Seleção De Áreas Destinadas A Aterros Sanitários. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, 425-440.
- Dutra, D. Silva, L. & Vimieiro, G. Coelho, C. (2019). Seleção de área para construção de aterro sanitário no município de Esmeraldas, MG, a partir da utilização de ferramentas de geoprocessamento. *Revista Geográfica Acadêmica*, 13(2), 106 – 118.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2022). EMBRAPA Solos: Solos do Brasil, Brasília.
- Felicori, T. D. C. Marques, E. A. G. Silva, T. Q. Porto, B. B. Bravin, T. C. & SANTOS, K. M. C. (2016). 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 Sanitaria e Ambiental*, 21(3), 547–560.
- Ferreira Alves, N., & Ribeiro da Silva, C. (2020). Uso de Geotecnologias e AHP na Identificação de Áreas Propícias à Implantação de Aterro Sanitário. *Anuario do Instituto de Geociencias*, 43(1).
- Franco, G.B. (2010) Diagnóstico da fragilidade ambiental e da qualidade da água da bacia do rio Almada, Bahia. (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Gomes, R. L., Marques, E. A. G., & Franco, G. B. (2017). Aptidão da Bacia Hidrográfica do Rio Almada diante da implantação de áreas para disposição ambiental de rejeitos. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22, 731-747.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Banco de Informações Ambientais de 2020. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Banco de Informações Ambientais de 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.
- IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico de 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- Iglesias, M. S. Diagnóstico de implantação de aterro sanitário no município de Veríssimo-MG. (jan.-abr,2021) *Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia*, 12(01), 16-35. Disponível em <https://seer.ufu.br/index.php/Observatorium/article/download/59058/32335/2691>
- Leite, A. A. Cruz, D. D. Andrade, M. de O. de. & Paulino, F. de O. (2018). Resíduos Sólidos: diagnóstico do cenário e impactos socioambientais no agreste paraibano. *Revista Nordestina de Biologia*, 26(1).
- Lira, K. C. S. Francisco, H. R. & Feiden, A. (2022). Classificação de proteção ambiental em bacia hidrográfica usando lógica Fuzzy e método AHP. *Sociedade & natureza*, 34.
- Lopes, R.C., & Silva, R.N.F. (2020). Uso de lógica booleana na triagem de áreas aptas para a implantação de aterro sanitário no Município de Campina Verde, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 7(16), 487-499.
- Medeiros, Átila M., Cabral, F. V., & Lima, L. O. (2023). Sistemas De Proteção Ambiental Em Aterros Sanitários. *Revista Foco*, 16(11), e3746. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n11-210>
- Medeiro, J. L. DA S., De Paiva, W., Silva, T. J. R. D. DE, Nascimento, M. B. do., Cezário, J. A., Carreiro, D. DE A., & Dos Santos, L. L. (2022). Identificação de áreas favoráveis a implantação de aterros sanitários entre municípios do sertão no estado da Paraíba, Brasil. *Revista AIDIS De Ingeniería Y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo Y práctica*, 15(3), 1240–1266.
- Mendes, J. R. L., Almeida, K. E. de L., Melo, J. M. de, & Abrantes, M. M. G. de. (2020-abril-junho). Diagnóstico da disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Direito e Gestão Pública*, 8(2), 449-457.
- Montaño, M., Ranieri, V. E. L., Schalch, V., Fontes, A. T., Castro, M. C. A. A., & SOUZA, M. P. de. (2012) . Integração de critérios ambientais, econômicos e sociais para localização de aterros sanitários. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 17, 61-70.
- Munaro, V. O. M., & Noernberg, M. A. (2023). Análise Multicritério na Seleção de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários no Litoral do Paraná. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, 4(3).
- Oliveira, A. A. A. de, Corrêa, S. da S., Mariano, M. O. H., Bezerra, S. de T. M., & Coelho, I. C. L. (2021). Métodos multicritérios para seleção de

- áreas destinadas a aterros sanitários. *Revista AIDIS De ingeniería Y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo Y práctica*, 14(1), 425–440.
<https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.1.71086>
- Projeto Mapbiomas – Coleção 6 da Série (2021). Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em https://mapbiomas.org/colecoesmapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR
- Poague, K. et al. (2018). SIG GIS in the selection of areas for landfills: case study in Jundiá - SP. *Revista DAE*, 66, 59-75.
- Qgis. Quantum Gis (2020). Geográfica livre e aberto. Versão do QGIS 3.10.12-A Coruña. [s. l.]: QGIS, Disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site/
- Schmidt, T. (2017). Seleção de área e dimensionamento de aterro sanitário para o consórcio público intermunicipal para assuntos estratégicos do g8 – cipae g8 (Trabalho de conclusão de curso) Centro Universitário Univates, Lajeado, RS.
- SEI – Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Mapas digitalizados do Estado da Bahia. Salvador: SEI, 2018. Disponível em https://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/mapas/pdf/tipologia_climatica_segundo_koppen_2018.pdf> Acesso em: 10 jan. 2022.
- Souza, M. P., Osorto, M. R. R., & Souza, N. M. (2022). Identificação De Áreas Aptas À Instalação De Aterros Sanitários Utilizando Sig No Município De Santo EstêvãoBahia. In: COBAMSEG (pp. 1-8), Campinas, SP.
- Van Elk, A. G. H. P., D'oliveira, P. M. S., Giordano, G., & Andrade, R. C. DE. (2022-Janeiro) potencial poluidor da disposição final de resíduos sólidos nas águas da Bacia hidrográfica da baía de guanabara – rj. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 27(1), 195–203.
- Weber, E., & Hasenack, H. (2000). Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados. Porto Alegre, RS. UFRGS.
- Vieira, E. M. de S., Silva, M. A. S., Silva, A. C. da & Guedes, M. J. F.. (2024). Arranjos Regionais para a disposição final de resíduos sólidos: estudo de caso do Estado da Paraíba. *Urbe. Revista Brasileira De Gestão Urbana*, 16, e20230016. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.016.e20230016>
- Zuquete, L. V., & Gandolfi, N. (2004) Cartografia Geotécnica. São Paulo, SP: Oficina de Textos.