

ÁREA TEMÁTICA: GESTÃO AMBIENTAL

**SIG APLICADO À SELEÇÃO DE ÁREAS PONTENCIAIS PARA
INSTALAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE CACOAL -
RONDÔNIA**

*Cindy Deina Farto¹ (cindydeina2012@gmail.com), Samara Teixeira Pereira¹
(samaraeng.amb@gmail.com)*

¹ Universidade Federal da Paraíba

RESUMO

O uso de aterros sanitários é o método mais adequado para a disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil. No entanto, determinar a localização desses aterros é um processo difícil e complexo, pois, para tal, devem-se combinar parâmetros sociais, ambientais, econômicos e técnicos, dentre outras questões legais. Assim, o objetivo deste artigo foi selecionar áreas potenciais para implantação de um aterro sanitário para o município de Cacoal, Rondônia e comparar três redes de drenagem diferentes, gerando assim, três mapas com as áreas potenciais para a implantação do aterro. Para isso, foi utilizado os *softwares* Google Earth Pro, AutoCad, ArcGIS 10.2.2 e IDRISI Kilimanjaro como ferramentas de análise das seguintes variáveis: hidrografia, declividade, rodovias, aeroporto, mancha urbana e Unidades de Conservação. Esses critérios se basearam nas especificações dadas pela NBR 15849/2010 e pela portaria 247GCS/2011. Os resultados revelaram que o mapa final que apresentou maior porcentagem de áreas inaptas, ou seja, o que teve a maior restrição em relação aos critérios, foi o mapa final obtido através da hidrografia do SRTM apresentando um percentual de 58,04%, enquanto que os outros dois resultados, obtiveram valores de 45,28% e 48,17%, respectivamente, para as drenagens do SEDAM e da ANA. Portanto, pode-se concluir que os resultados obtidos no presente estudo, revelam o SIG como uma ferramenta útil e ágil na integração de informações espaciais para tomada de decisão no processo de avaliação e seleção de áreas aptas à implantação de aterros sanitários.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos; Aterros sanitários; Sistemas de informações geográficas.

**GIS APPLIED TO THE SELECTION OF PONTENTIAL AREAS FOR THE
INSTALLATION OF LANDFILL IN THE MUNICIPALITY OF CACOAL –
RONDÔNIA**

ABSTRACT

The use of landfills is the most appropriate method for the final disposal of Urban Solid Waste (RSU) in Brazil. However, determining the location of these landfills is a difficult and complex process, since, to this end, social, environmental, economic and technical parameters must be combined, among other legal issues. Thus, the objective of this article was to select potential areas for the implantation of a sanitary landfill for the municipality of Cacoal, Rondônia, and to compare three different drainage networks, thus generating three maps with potential areas for landfill implantation. For this purpose, the software Earth Pro, AutoCad, ArcGIS 10.2.2 and IDRISI Kilimanjaro were used as analysis tools of the following variables: hydrography, slope, highways, airport, urban spot and Conservation Units. These criteria were based on the specifications given by NBR 15849/2010 and Ordinance 247GCS/2011. The results showed that the final map that presented the highest percentage of inapt areas, that is, the one that had the greatest restriction in relation to the criteria, was the final map obtained through the hydrography of the SRTM presenting a percentage of 58.04%, while the other two results obtained values of 45.28% and 48.17%, respectively, for the SEDAM and ANA drainage. Therefore, it can be concluded that the results obtained in the present study reveal the GIS as a

useful and agile tool in the integration of spatial information for decision making in the process of evaluation and selection of areas suitable for the implantation of sanitary landfills.

Keywords: Urban solid waste; Sanitary landfills; Geographic information systems.

1. INTRODUÇÃO

Por muitos anos, a disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil, tem sido realizada de maneira inadequada e em áreas impróprias, nos chamados lixões, que consistem em áreas escolhidas aleatoriamente, sem qualquer controle de poluição da água e do solo em seu entorno (FELICORI, 2015).

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2014), no Brasil existem aproximadamente 1300 lixões cadastrados, desses, 14% estão localizados na região Norte. Essa região é composta por 450 municípios (IBGE, 2010), nos quais, apenas 25 dispõem os resíduos em aterros sanitários (SNIS, 2014). Vale ressaltar que, quando os RSU são expostos a céu aberto sem nenhuma forma de tratamento, comprometem a saúde pública através da transmissão de doenças por micro ou macro vetores e oferecem maior risco de contaminação da água, dos solos e do ar.

Diante desse cenário, tem-se a necessidade da implementação da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos sólidos, evitando assim, os problemas socioambientais supracitados. Conforme a Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos sólidos, essa disposição consiste na distribuição dos rejeitos de forma ordenada em aterros sanitários, fazendo o uso das normas operacionais específicas, e constitui em umas das etapas fundamentais para um gerenciamento dos RSU.

O aterro sanitário consiste na disposição de resíduos em área impermeabilizada com recobrimento e compactação dos mesmos com camadas sucessivas de solo. O tratamento dos resíduos ocorre por meio de digestão anaeróbia e requer um controle ambiental dos líquidos lixiviados (chorume) e do biogás resultantes do processo. Esses líquidos são coletados por meio de drenos e tratados em lagoas aeróbias e o biogás é queimado ou pode ser coletado para reaproveitamento e geração de energia.

Sendo assim, tem-se a importância de estudos que viabilizem mecanismos e metodologias para a determinação do local adequado para a instalação de aterros, de forma a minimizar os possíveis impactos ambientais. Áreas adequadas, além de promoverem a proteção ao ambiente e à saúde pública, representam menores gastos com as etapas de implantação, operação e encerramento do empreendimento, proporcionando economia em todo o processo (FELICORI et al., 2016).

No Brasil, os critérios para localização de aterros sanitários de pequeno porte estão sistematizados na NBR 15849/2010, da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Esses critérios incluem: distâncias de cursos d'água, estradas, núcleos populacionais, unidades de conservação, pouca ou nenhuma declividade do terreno, tamanho da área e vias de acesso em perfeitas condições, dentre outros (ABNT, 2010). Portanto, essa seleção de locais deve ser criteriosa, pois além de preservar os recursos naturais, deve estabelecer um uso racional do solo em virtude da constante diminuição de espaço físico disponível.

Nesse sentido, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) são ferramentas importantes para a seleção de áreas para a implantação de aterros sanitários, pois possibilita o monitoramento e gerenciamento destes, ao permitir a combinação das diversas informações georreferenciadas, conjugando a área ideal para a possível instalação de aterros sanitários de forma rápida e confiável (MOREIRA et al., 2016). Além disso os SIG's podem fornecer subsídios ao processo decisório, por constituir ferramenta ágil, capaz de integrar dados espaciais relacionados com diversas variáveis, minimizando a subjetividade da análise e aumentando, deste modo, as possibilidades e cenários nas análises ambientais.

Diversos estudos como os de Felicori et al., (2016), Moreira et al., (2016), Gregório et al., (2013), Wang et al., (2009); Samizava et al., (2008), entre outros, foram realizados para se avaliar áreas potenciais para a instalação de aterros sanitários usando metodologias baseadas em SIG's.

2. OBJETIVO

Este estudo teve como objetivo aplicar o SIG para a identificação de áreas com potencial para implantação de aterro sanitário no município de Cacoal – Rondônia, a partir das seguintes restrições legais vigentes: hidrografia, declividade, aeroportos, malha viária, proximidade da mancha urbana e localização de unidades de conservação. Em relação a hidrografia, foram comparadas três redes hidrográficas diferentes, com o intuito de verificar a diferença entre elas, através da quantificação das áreas aptas para a implantação do aterro.

3. METODOLOGIA

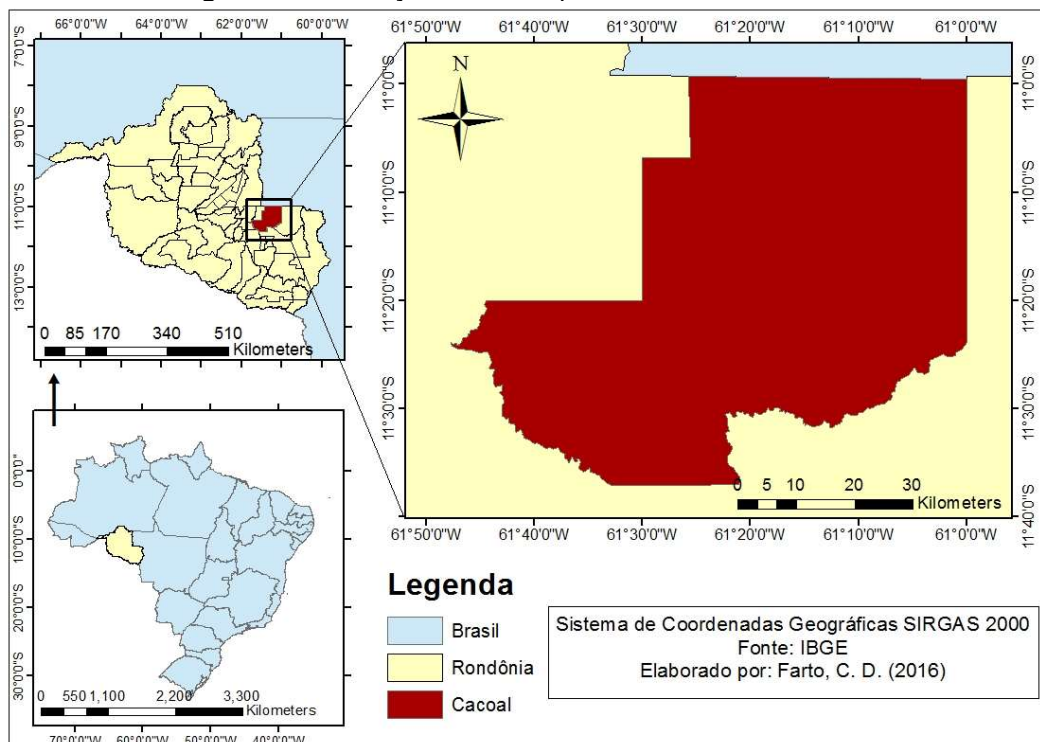
3.1 Caracterização da Área de Estudo

O município de Cacoal está localizado no estado de Rondônia, na região Norte do Brasil (FIGURA 1). A população estimada para o município em 2016 é de 87.877 habitantes, sendo a maioria residente da zona urbana (IBGE, 2014).

Cacoal está localizado a uma latitude 11°26'19" sul e a uma longitude 61°26'50" oeste, estando a uma altitude de 200 metros. Possui uma área de 3.793 km² representando 1,6% do Estado (IBGE, 2014). Seu território tem como limite as cidades de Presidente Médici ao noroeste, Espigão d'Oeste ao leste, Castanheiras e Ministro Andreazza ao oeste, Pimenta Bueno ao sudoeste e Rolim de Moura ao sul.

A rede hidrográfica do município pertence à bacia do rio Machado e a vegetação observada é do tipo savana, predominando, no entanto, uma de transição entre floresta aberta e savana, dado o caráter típico da transição climática.

Figura 1. Localização do município de Cacoal – RO



2.2 Dados de Entrada

A realização do estudo consiste, resumidamente, em um processo de coleta e manipulação de dados utilizando os *softwares* Google Earth Pro, AutoCad, ArcGIS® 10.0 e IDRISI Kilimanjaro. As bases cartográficas no formato matricial e vetorial (*shapefile*) utilizadas no presente artigo foram:

- Três redes de drenagem do município de Cacoal, fornecidas por três fontes: Agência Nacional de Águas (ANA), Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM) e a última foi obtida através do Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado no estudo.
 - Traçado das Rodovias/Sistema Rodoviário fornecido pela SEDAM;
 - Polígono da mancha urbana do município de Cacoal/Área Efetivamente Urbanizada. Foi obtido manualmente pela criação de polígonos por análise das imagens de satélite fornecidas pelo *software* Google Earth Pro;
 - Polígono do aeroporto do município de Cacoal. Foi obtido manualmente pela criação de polígono por análise das imagens de satélite fornecidas pelo *software* Google Earth Pro;
 - Declividade da área de estudo. Foi obtida através do comando “*slope*” pelo *software* IDRISI Kilimanjaro;
 - Limites de Unidades de Conservação do Brasil cedido pelo Ministério do Meio Ambiente;
- O modelo digital de elevação utilizado foi obtido através do site da Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI), com resolução espacial de 90 metros.

2.3 Critérios Restritivos

Os critérios expostos se basearam na NBR 15849/2010, que especifica os requisitos mínimos para localização, projeto, implantação, operação e encerramento de aterros sanitários e na Portaria nº 249/GCS/2011 do Ministério da Defesa que dispõe sobre o Plano Básico de Gerenciamento do Risco Aviário e define a Área de Gerenciamento de Risco Aviário, área restrita para a construção de depósitos de resíduos sólidos. Desta forma, os critérios e as faixas restritivas consideradas para a localização do aterro sanitário, estão descritos de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1. Critérios propostos e suas descrições

Critério	Descrição
Hidrografia	Deve ser avaliada a possível influência do aterro na qualidade e no uso das águas superficiais e subterrâneas próximas. As áreas não podem se situar a menos de 200 metros de corpos d’água relevantes, tais como, rios, lagos, lagoas e oceano.
Rodovias	A norma determina que o acesso para a área de disposição de resíduos deve ser no mínimo de 100 metros, para que o transporte dos mesmos e a operação do aterro sejam funcionais.
Mancha Urbana	A norma estabelece uma distância de 500 metros de qualquer núcleo populacional, para evitar prejuízo à qualidade de vida na população, devido ao possível aumento de tráfego de veículos, vetores de doenças e odores.
Aeroporto	As áreas não podem se situar próximas a aeroportos ou aeródromos. A legislação vigente determina uma distância mínima de 9 km de qualquer aeroporto.
Declividade	A declividade representa o grau em porcentagem de inclinação do terreno, sendo intimamente ligado com a velocidade do escoamento superficial das águas e do provável escoamento subsuperficial do chorume provenientes de aterros. Assim a inclinação do terreno deve ser superior a 1% (para evitar alagamentos em épocas das chuvas) e menor que 30% (para evitar erosão).
Unidades de Conservação	As áreas devem estar localizadas numa região fora de qualquer Unidade de Conservação Ambiental.

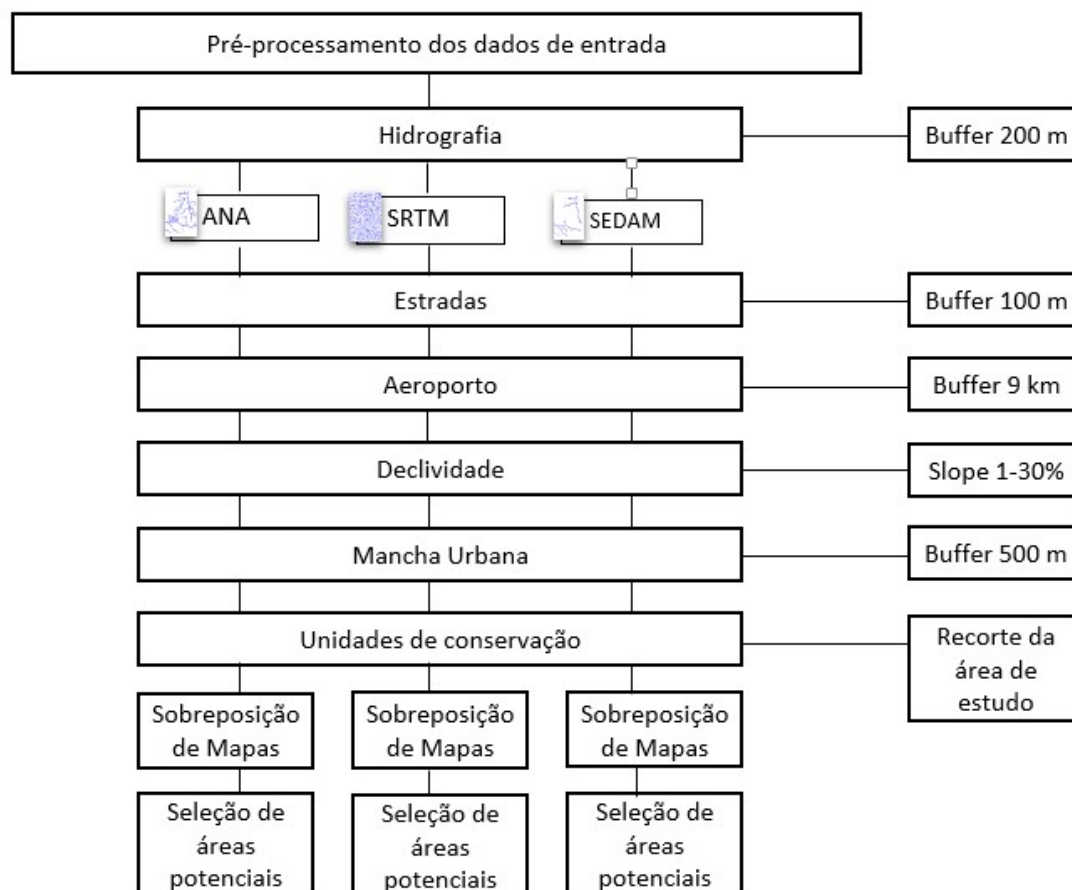
2.4 Procedimentos Metodológicos de Geoprocessamento

A partir da leitura sobre os critérios para a implantação do aterro sanitário, e da disponibilidade de material cartográfico, as variáveis de entrada que foram utilizadas passaram por um processo de pré-processamento no ArcGIS e no IDRISI, apresentado no diagrama metodológico na Figura 2 e detalhado no Quadro 2.

A sobreposição dos mapas com as restrições foi realizada utilizando o IDRISI e ao final, foi gerado três mapas que englobam todas as restrições. A partir desses mapas, foi possível visualizar e

quantificar as áreas adequadas para a construção do aterro, no intuito de verificar a diferença entre as três redes de drenagem utilizadas.

Figura 2. Diagrama metodológico de geoprocessamento.



Quadro 2. Critérios e geoprocessamento dos dados

Critério	Descrição
Hidrografia	Para delimitar as distâncias dos corpos d'água, foram utilizadas as três redes de drenagem mencionadas anteriormente e foram gerados buffers de 200 metros de cada hidrografia da área de estudo.
Rodovias	Através do arquivo shapefile das rodovias fornecido pela SEDAM, foi possível aplicar um buffer de 100 metros das estradas principais.
Mancha Urbana	Com uso do shapefile área urbanizada, digitalizado através do Google Earth, foi possível aplicar um buffer de 500 metros do núcleo populacional central.
Aeroporto	Com o shapefile digitalizado através do Google Earth, foi possível aplicar um buffer de 9000 metros do aeroporto do município.
Declividade	A carta <i>SRTM_24_15</i> proveniente da base de dados da missão SRTM gerou por meio da ferramenta <i>slope</i> o mapa de declividade da área de estudo, e a partir da ferramenta <i>reclass</i> foi possível identificar as áreas com declividades entre 1 a 30%, adequadas à instalação do aterro.
Unidades de Conservação	A partir do arquivo shapefile fornecido pelo MMA no qual contém todas as Unidades de Conservação brasileiras federais, estaduais e municipais de Proteção Integral e de Uso Sustentável, recortou-se a área de estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, tem-se os percentuais referentes às áreas aptas e inaptas para cada critério de restrição, considerando todo o município de Cacoal. Na Figura 3, tem-se as áreas aptas e inaptas para cada critério de restrição, na qual as áreas inaptas para o objetivo do estudo foram classificadas com a cor preta e as áreas aptas receberam a cor amarelo.

Tabela 1. Percentual de áreas aptas e inaptas para cada restrição

Restrição		Áreas Aptas	Áreas Inaptas
Hidrografia	ANA	93,5%	6,5%
	SEDAM	96,73%	3,27%
	SRTM	81,84%	18,16%
Rodovias		94,6%	5,4%
Mancha Urbana		98,47%	1,53%
Aeroporto		90,14%	9,86%
Declividade		96,3%	3,7%
Unidades de Conservação		77,43%	25,57%

Observa-se que as restrições Unidades de conservação e a hidrografia proveniente da imagem SRTM foram as que apresentaram maiores restrições referentes as áreas inaptas com percentuais de 25,57 e 18,16; respectivamente. Os resultados quanto aos critérios restritivos relacionados às questões naturais como as hidrografias provenientes da ANA e da SEDAM já eram esperados, pois essas redes de drenagem não foram digitalizadas detalhadamente se comparadas com a drenagem proveniente da imagem SRTM. Já a declividade também já era esperada, devido às conhecidas características ambientais do município de Cacoal.

A restrição aeroportos, foi a que apresentou o terceiro maior percentual de áreas inaptas, com 9,86%. Essa restrição causa um impacto local considerável para os municípios que possuem aeroportos dentro de seus limites, pois representam uma perda de área correspondente a 254 km². Felicori et al., (2016), destacam que essa perda pode impactar mais de um município, pois, dependendo da localização do aeroporto, a circunferência de área referente ao raio de 9 km pode abranger outros municípios.

Após a sobreposição dos mapas de todos os critérios condicionantes restritivos, obteve-se um resultado de indicação de possíveis áreas à implantação do aterro sanitário no município de Cacoal. Dessa forma, os mapas contendo as áreas finais resultantes da análise multicritério, que atendem aos requisitos descritos na metodologia, são apresentados a seguir, na Figura 4. Na Tabela 2, tem-se os valores finais em porcentagem, de áreas aptas e inaptas provenientes dos três mapas gerados.

Figura 3. Áreas aptas e inaptas para cada restrição: (a) hidrografia ANA; (b) hidrografia SEDAM; (c) hidrografia SRTM; (d) aeroporto; (e) mancha urbana; (f) unidades de conservação; (g) rodovias; (h) declividade



Figura 4. Mapas das áreas potenciais para instalação de aterro sanitário após sobreposição dos mapas de áreas impróprias – (a) Mapa final com a hidrografia da ANA; (b) Mapa final com a hidrografia da SEDAM e (c) Mapa final com a hidrografia do SRTM

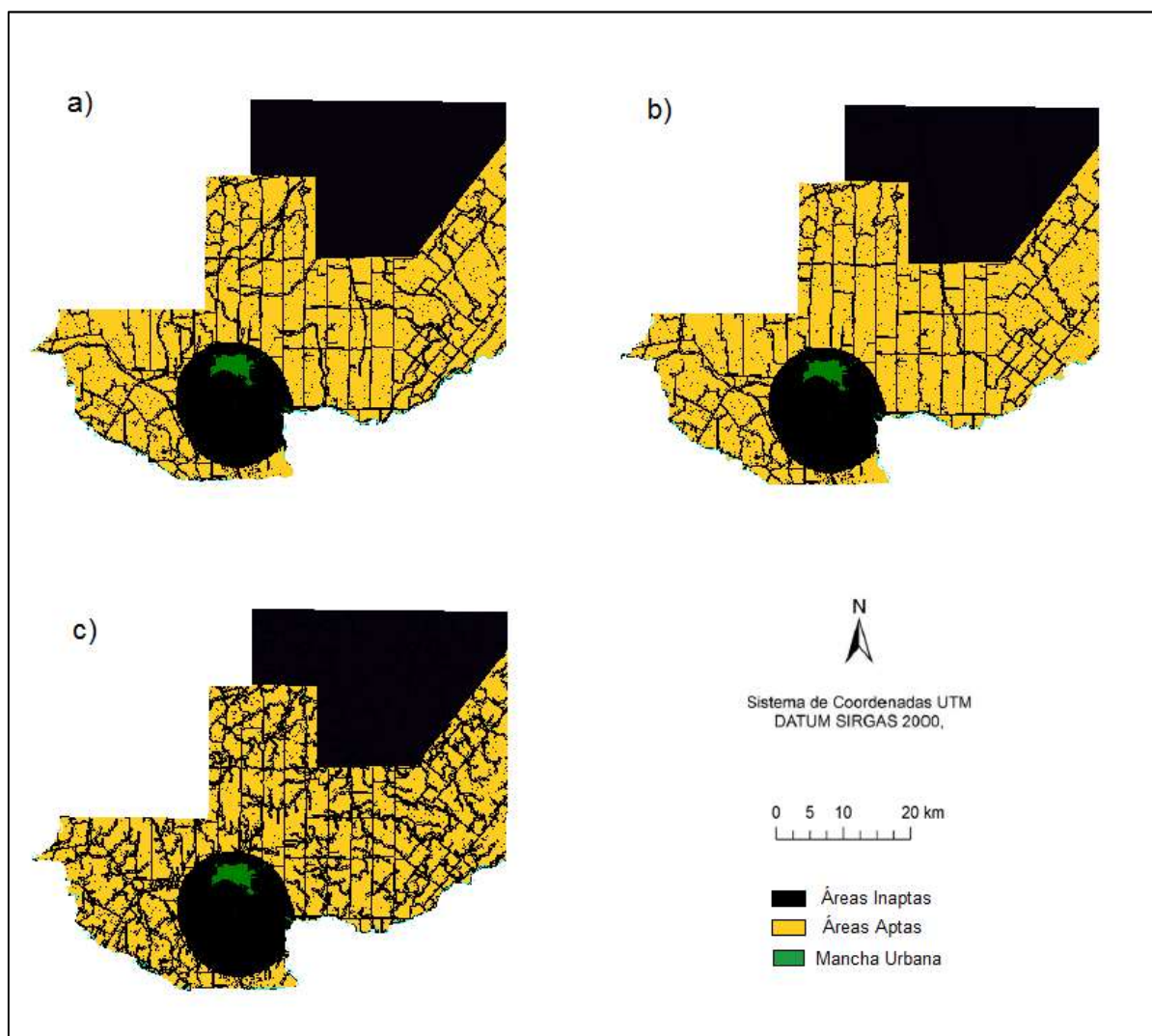


Tabela 2. Percentual de áreas finais aptas e inaptas para todos os critérios de restrição

Áreas potenciais para instalação de aterro sanitário	Áreas Aptas	Áreas Inaptas
Área final com a hidrografia do SEDAM	54,72%	45,28%
Área final com a hidrografia da ANA	51,83%	48,17%
Área final com a hidrografia do SRTM	41,96%	58,04%

Através da Tabela 2, pode-se observar que o mapa final que apresentou maior porcentagem de áreas inaptas, ou seja, o que teve a maior restrição em relação aos critérios, foi o mapa final obtido através da hidrografia do SRTM apresentando um percentual de 58,04%, enquanto que os outros dois resultados, obtiveram valores de 45,28% e 48,17%, respectivamente, para as drenagens do SEDAM e da ANA.

Apesar de terem sido identificadas áreas potenciais para implantação de aterro, não se pretendeu neste trabalho esgotar o assunto da determinação de locais apropriados à implantação de aterros sanitários, mas apontar uso de ferramentas de SIG para apoiar tecnicamente essa escolha.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo revelam o SIG como uma ferramenta útil e ágil na integração de informações espaciais para tomada de decisão no processo de avaliação e seleção de áreas aptas à implantação de aterros sanitários. Essa ferramenta deve ser acessível ao administrador/tomador de decisões, pois facultam uma percepção da realidade muito além da avaliação subjetiva.

É importante destacar que o estudo representa uma identificação preliminar de áreas para a construção de aterros sanitários. As áreas selecionadas como aptas podem apresentar outras características que podem inviabilizar a sua utilização para a disposição de resíduos, como dificuldade de acesso, presença de mata nativa, uso e ocupação do solo, além do fluxo de água subterrânea e permeabilidade do solo, que devem ser analisados (validados) *in situ*. Tais características podem reduzir o número de áreas obtidas.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15849/2010 – Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro, ABNT, 2010.

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. Brasília: Diário Oficial da União, 2011.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria no 249/GCS/2011, de 06 de maio de 2011. Aprova a edição do PCA 3-2, que dispõe sobre o Plano Básico de Gerenciamento do Risco Aviário – PBGRA nos aeródromos brasileiros, 2011. Disponível em: <<http://www.cenipa.aer.mil.br/ce>>

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Cadastro nacional de unidades de conservação: dados consolidados. Brasília: MMA, 2014. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protetidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-consolidados>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

FELICORI, T. C. Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da zona da mata – Minas Gerais, 2015. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

FELICORI, T. C.; MARQUES, E. A. G.; SILVA, T. Q.; PORTO, B. B.; BRAVIN, T. C.; SANTOS, K. M. C. 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, p. 547-560, 2016.

GREGÓRIO, B. S.; AZEVEDO, G. M.; SOUZA, J. L.; SANTOS, P. S. Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário no município de Barreiras, Bahia. In: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas de população de 2014 publicadas no D.O.U em 28 de agosto de 2014.

MOREIRA, L. V.; SCHWAMBACK, D.; CORRÊA, N. R.; COELHO, A. L. N. SIG aplicado à seleção de áreas potenciais para instalação de aterro sanitário no município de Serra – ES. Revista Geociências, v. 35, p. 531-541, 2016.

SAMIZAVA, T.M.; KAIDA, R.H.; IMAI, N.N.; NUNES, J.O.R. SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente - SP. Revista Brasileira de Cartografia, v.60, n.1, p.43-55, 2008.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2014. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília – DF.

WANG, G.; QUIN, L.; LI, G.; CHEN, L. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China. Journal of Environmental Management 90, p. 2414–2421, 2009.