

NÍVEL DE ADEQUABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DE ÁREAS DE ATERROS EM OPERAÇÃO

Mayara Maezano Fanta Pinheiro

Universidade do Oeste Paulista, Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional,
Presidente Prudente, SP, Brasil.
mayarafanta@gmail.com

Noemi de Oliveira Dias

Universidade do Oeste Paulista, Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Presidente
Prudente, SP, Brasil.
noemi_dias@outlook.com

Lucas Prado Osco

Universidade do Oeste Paulista, Faculdade de Engenharias e Arquitetura e Urbanismo "Conselheiro
Algacyr Munhoz Maeder", Presidente Prudente, SP, Brasil.
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Pós-Graduação em Recursos Naturais, Campo Grande,
MS, Brasil.
pradoosco@gmail.com

Tatiana Sussel Gonçalves Mendes

Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Ambiental, São José dos Campos, SP,
Brasil.
tatiana.mendes@unesp.br

Rejane Ennes Cicerelli

Universidade de Brasília, Instituto de Geociência, Brasília, DF, Brasil.
rejaneig@unb.br

Ana Paula Marques Ramos

Universidade do Oeste Paulista, Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional,
Presidente Prudente, SP, Brasil.
anaramos@unoeste.br

RESUMO

A definição de área para disposição final de resíduos sólidos é uma tarefa complexa. No Brasil, existem regulamentos de caráter obrigatório (restritivo) e de orientação para a implantação de aterros. Todavia, a análise de aterros em operação segundo esses regulamentos é ainda algo pouco explorada, mas que pode trazer importantes informações à gestão territorial. Este trabalho investiga se os aterros no oeste do estado de São Paulo atendem aos critérios restritivos e qual o seu nível de adequabilidade ambiental e socioeconômica. Analisou-se 32 aterros, segundo quatro critérios restritivos, e um mapa de adequabilidade produzido em um trabalho anterior. Aproximadamente 41% dos aterros em operação descumprem a legislação. Daqueles em áreas legais, somente 25% encontram-se em áreas de alto nível de adequabilidade ambiental e socioeconômica. Isso demonstra a importância de se investigar os impactos socioambientais relacionados aos aterros segundo ambos os regulamentos, de caráter obrigatório e de orientação, visando uma eficaz gestão territorial.

Palavras-chave: Impacto ambiental. Produção cartográfica. Geoprocessamento.

LEVEL OF SOCIO-ENVIRONMENTAL SUITABILITY OF OPERATION LANDFILL AREAS

ABSTRACT

Defining the area for final solid waste disposal is a complex task. In Brazil, there are mandatory (restrictive) and guidance regulations for landfilling. However, the analysis of landfills in operation under these regulations is still little explored, but it can bring important information to territorial management. This paper investigates whether landfills in western São Paulo state meet the restrictive criteria and their level of environmental and socioeconomic adequacy. 32 landfills were analyzed, according to four restrictive criteria and a suitability map produced in a previous work. Approximately 41% of operating landfills fail to comply with legislation. Of those in legal areas, only 25% are in areas of high level of environmental and socioeconomic adequacy. This demonstrates the importance of investigating the social and environmental impacts related to landfill according to both mandatory and guiding regulations, aiming at effective territorial management.

Keywords: Environmental impact. Cartographic production. Geoprocessing.

INTRODUÇÃO

A gestão dos resíduos sólidos é um desafio para diversos países do mundo, sobretudo países em desenvolvimento (GUERRERO et al., 2013). Dentre as etapas do gerenciamento dos resíduos, a destinação final recebe a maior atenção. Isso porque, quando o resíduo não é disposto de maneira adequada, pode causar impactos ambientais e sanitários negativos. Esses impactos variam desde a contaminação dos recursos naturais (água, solo e biota) até a proliferação de doenças e vetores.

No Brasil, as discussões e preocupações a respeito da destinação final dos resíduos sólidos cresceram após a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (lei nº12.305/2010). Apesar de a Lei definir a destinação final ambientalmente adequada em aterros, de forma que minimize os impactos ambientais e não cause danos à saúde da população, ainda existem municípios brasileiros que descartam os resíduos de forma inadequada. Atualmente o cenário é de 40% dos municípios brasileiros dispendo os resíduos sólidos de forma inadequada (ABRELPE, 2017). Os resíduos são destinados em aterros controlados e lixões, que não possuem técnicas e medidas de contenção e tratamento dos poluentes líquidos e gasosos (ABRELPE, 2017). Essa realidade é oposta às prerrogativas da PNRS, causando danos ao meio ambiente e à saúde da população.

A definição de área para a disposição final de resíduos sólidos envolve diversos critérios e é, portanto, considerada uma tarefa complexa. No Brasil, existem normas para elaboração de projeto, construção e operação de aterros, conforme o tipo de resíduo a receber. Existem leis, normas e resoluções tanto de caráter obrigatório como de orientação (recomendação) para a implantação de aterros. As restrições e recomendações têm o objetivo de minimizar os impactos ao meio ambiente e à sociedade, como limitações da localização do aterro em relação à distância de redes de drenagem, a declividade, a distância de núcleos populacionais, a distância de aeroportos, as características físicas no local de implantação, entre outros critérios que abordaremos neste trabalho.

Estudos recentes (PINHEIRO, 2019; KHODAPARAST et al., 2018; KHOSHAND et al., 2018; KARIMI et al., 2018; KHAN et al., 2018; YILDIRIM et al. 2018; OSCO et al., 2018; COLVERO et al., 2018; SAATSAZ et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2017; JERIE e ZULU, 2017; BOSOMPEN et al., 2016; RAHMAT et al., 2017; TORABI-KAVEH et al., 2016; YAZDANI et al., 2015) têm abordado questões como a avaliação de áreas adequadas para implantação de aterro sanitário considerando critérios ambientais e socioeconômicos e a avaliação dos aterros já instalados relacionados a aspectos legais (OSCO et al., 2018; COLVERO et al., 2018; SAATSAZ et al., 2018; JERIE e ZULU, 2017; YAZDANI et al., 2015). No Brasil, um estudo identificou áreas livres de restrição para a instalação de aterros, no estado de Goiás, e verificou que a localização de 78% dos aterros e lixões existentes estão em áreas inadequadas na perspectiva legal (COLVERO et al., 2018).

Na região oeste do estado de São Paulo, Brasil, há estudos que tratam, por exemplo, do uso da teoria da paisagem para escolha de área de aterro sanitário em um dos municípios da região (OLIVEIRA et al., 2017). Esse estudo avaliou as características físicas como a geologia e pedologia do município, verificando a potencialidade geoecológica à instalação de aterros sanitários, e constatou que o município estudado possui altos níveis de fragilidade ambiental. Outra abordagem, avaliou as áreas ocupadas por aterros de 22 municípios da região, considerando o estado geoecológico e aspectos legais da área de estudo, constatando que 40% dos aterros em operação estão em áreas de classes geoecológicas pouco ou não recomendadas, e não estão de acordo com os parâmetros legais exigidos (OSCO et al., 2018). Este estudo abrangeu menor quantidade de municípios (22) da região oeste de São Paulo e não considerou todos os critérios restritivos e recomendados pelas normas e leis, que minimizam os impactos negativos de um aterro.

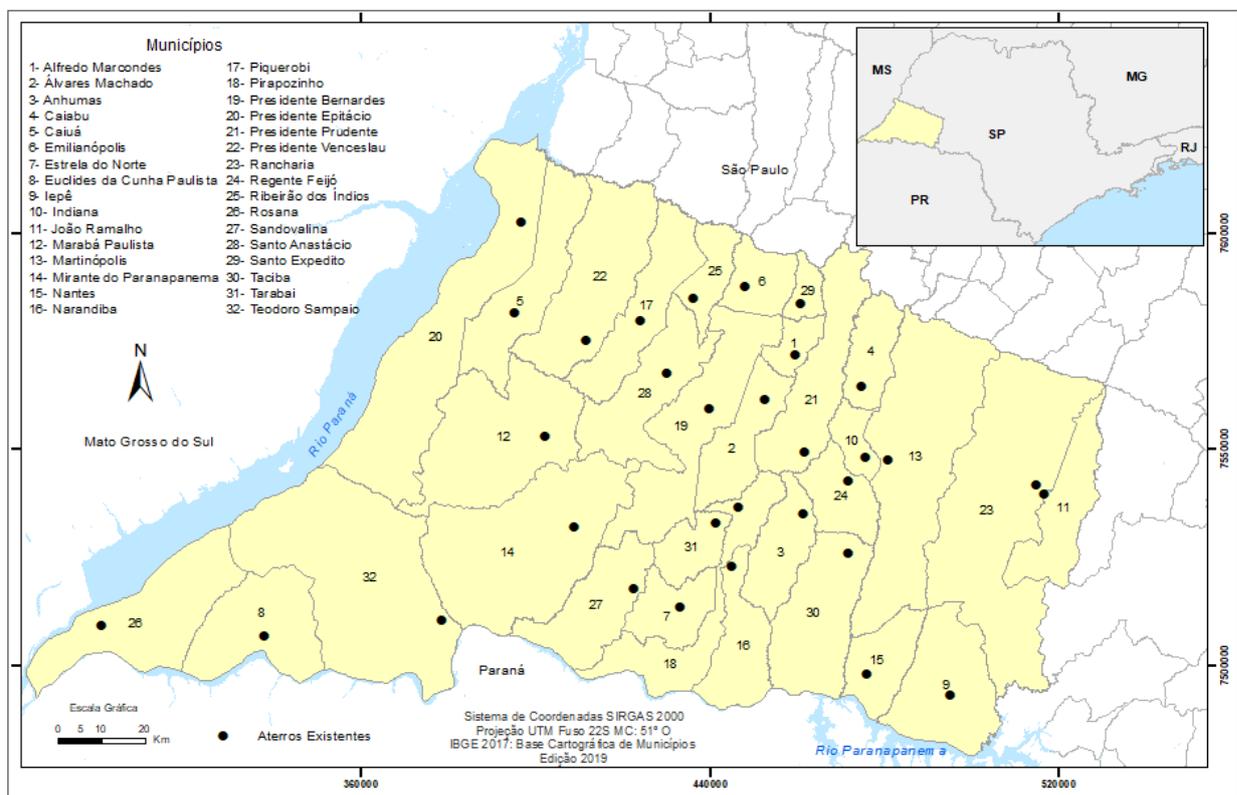
Outro estudo (PINHEIRO, 2019) aborda uma metodologia para definir áreas para a implantação de aterro sanitário no modelo de consórcio para os 32 municípios da região. Como nos estudos anteriores, Pinheiro (2019) caracteriza a geofísica da região, além de considerar questões ambientais e socioeconômicas para a implantação de um aterro sanitário consorciado. Ademais, em parte desse estudo, verificou-se que 41% dos aterros da região estão em áreas legalmente restritas.

As recentes pesquisas e legislação brasileira de ordem restrita e de recomendação para construção de um aterro apontam a importância em verificar e priorizar a redução de impactos negativos que um aterro pode causar. Portanto, o objetivo do presente trabalho é verificar se as áreas onde estão localizados os aterros da região a oeste do estado de São Paulo atendem a todos os critérios legais estabelecidos pela legislação brasileira e qual o nível de adequabilidade ambiental e socioeconômica dessas áreas segundo as normas que regem a disposição final de resíduos sólidos. Embora um estudo similar tenha sido desenvolvido por Colvero et al. (2018) para a região do estado de Goiás, esse tipo de análise é inédito para a região oeste do estado de São Paulo, a qual é composta por 32 municípios, somando-se aproximadamente meio milhão de habitantes. A principal contribuição desse trabalho é a caracterização ambiental e socioeconômica dos aterros existentes nessa região, visando auxiliar o planejamento de futuras ampliações ou instalações de novos depósitos de resíduos sólidos. A caracterização servirá como fonte de informação para se implantar mecanismos de minimização dos impactos negativos, convergente ao cumprimento das exigências da PNRS, e podendo servir de referência para construção de novas políticas públicas locais.

ÁREA DE ESTUDO

A região oeste do estado de São Paulo faz divisa com os estados do Paraná e Mato Grosso do Sul (Figura 1). É composta por 32 municípios e possui uma área total de aproximadamente 2 milhões de hectares. A população total em 2010 era de 585.713 habitantes (IBGE, 2010). Anualmente, são produzidas 224.548 toneladas de resíduos sólidos, dos quais são destinados em aterros sanitários, aterros controlados e lixões (SNIS, 2016; CETESB, 2016).

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Org: Autores, 2019.

Dos 32 municípios da região de estudo, aproximadamente 30% foram classificados como inadequados, de acordo com o índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (CETESB, 2017). Ademais, 40% dos municípios não possuem todas as licenças ambientais necessárias para operação dos aterros (CETESB, 2017). Desta forma, parte dos aterros da região de estudo necessitam se enquadrar às exigências do órgão licenciador do estado de São Paulo, de maneira que os impactos negativos ao meio ambiente e à população sejam minimizados.

MATERIAL E MÉTODOS

CRITÉRIOS COM RESTRIÇÃO LEGAL

O método foi dividido em duas etapas. Na primeira, foi verificada a localização dos aterros existentes em função do ponto de vista legal (critérios restritivos) nas esferas ambiental e socioeconômica. Os critérios restritivos correspondem a aqueles com caráter de obrigação, pois são instruídos por leis, normas e resoluções. A localização dos aterros pode ser encontrada no site da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2016).

Na esfera ambiental, para os critérios restritivos, considerou-se a variável “distância da rede de drenagem”, com o atributo restritivo de 200 metros, conforme estabelece a (BR 13.896/97) (ABNT, 1997). Com a preocupação de usar a faixa de maior restrição, foi considerado também as Áreas de Preservação Permanente (APPs). Dessa forma, usou-se a faixa de restrição de 500 metros para os rios com largura acima de 600 metros, conforme lei federal 12.651/12 (BRASIL, 2012).

Outro critério ambiental considerado é a “Unidade de Conservação (UC)”, pois a localização das mesmas não é passível de instalação de aterros, conforme lei federal nº9.985/2000. A NBR 13.896/97 também define a “profundidade mínima do freático” de 1,50 metros, porém, na região de estudo não foram encontrados dados abaixo deste valor. Essa variável não foi aplicada na região de estudo como um critério restritivo, mas, com a preocupação em resguardar uma possível contaminação dos aquíferos, a variável foi aplicada como critério recomendado.

Na esfera socioeconômica foi usada a variável “distância de aeroportos”, que restringe a implantação de aterros sanitário em Área de Segurança Aeroportuária (ASA). A ASA corresponde a um raio de 20 km do aeroporto (lei federal nº 12.725/2012). Após verificar a localização dos aterros existentes em função de cada critério restritivo, também foi verificado em função de um mapa síntese com todos os critérios restritos compilados (Mapa Síntese Restritivo), o qual foi produzido por usando lógica booleana por Pinheiro, 2019.

CRITÉRIOS RECOMENDADOS

A segunda etapa da metodologia envolve verificarmos a localização dos aterros em função de critérios recomendados, bem como avaliarmos o nível de adequabilidade ambiental e socioeconômica desses aterros. A partir de uma base de dados existente, usou-se o Mapa Síntese 2 (PINHEIRO, 2019) como Mapa Síntese de Recomendação, que representa os níveis de adequabilidade da região a oeste do estado de São Paulo, excluídas as áreas restritivas. O nível de adequabilidade, elaborado por Pinheiro (2019), usou critérios recomendados por leis, normas, resoluções e literatura, tanto de caráter ambiental como socioeconômico.

O critério “distância de rede de drenagem” e “distância das UCs”, apesar de serem utilizados como critérios restritivos, também foram considerados como critérios recomendados para áreas além do mínimo de proteção exigido por lei, com o objetivo de obter maior proteção à possíveis contaminações. Considerou-se que quanto maior a distância da rede de drenagem, menor o risco de

contaminações dos recursos hídricos pela operação de um aterro. E para a “distância de UCs” quando o empreendimento estiver localizado à 3.000 m do limite da UC, sem a Zona de Amortecimento (ZA) estabelecida, deve-se ter autorização do órgão responsável por sua administração para a implementação do empreendimento (CONAMA 428/2010). A fonte de informação e os atributos dos critérios restritivos e recomendados estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Fluxo dos critérios restritivos e recomendados, fonte de informação e atributos.

Variável Restritiva	Fonte da restrição	Fonte de dados cartográficos
Distância da Rede de Drenagem	NBR 13.896/97 Lei nº12.651/2012	IBGE (2017d) 1:250.000 DataGEO (2013) 1:50.000
Distância das Unidades de Conservação	Lei nº 9.985/2000	IBGE (2017f) 1:250.000 ICMBIO (2018)
Profundidade do freático	NBR 13.896/97	CPRM Serviço Geológico do Brasil (2018)
Distância de Aeroportos	Lei Federal nº 12.725/2012	ANAC (2018)
Variável Recomendada	Fonte da recomendação	Fonte de dados cartográficos
Distância da rede de drenagem	NBR 13.896/97	IBGE (2017) 1:250.000 DataGEO (2013) 1:50.000
Variação de declividade	NBR 13.896/97	MDE (Modelo Digital de Elevação) da missão SRTM (<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>) resolução espacial 30 metros (USGS, 2017)
Geologia	NBR 13.896/97	IBGE (2017b) 1:250.000
Pedologia	NBR 13.896/97	DataGEO (2017) 1:250.000
Geomorfologia	Samizava et al (2008)	IBGE (2017c) 1:250.000
Profundidade do freático	NBR 13.896/97	CPRM Serviço Geológico do Brasil (2018)
Distância das UC	CONAMA 428/2010	IBGE (2017f) 1:250.000 ICMBIO (2018)
Uso e Cobertura da terra	Pavani et al. (2019)	Classificação de imagem Landsat 8 (USGS, 2017) 1:50.000
Distância das áreas construídas	NBR 13.896/97	IBGE (2017a) 1:250.000
Distância de Estradas	NBR 13.896/97 Samizava et al (2008) Eskandari et al (2012)	IBGE (2017e) 1:250.000

Fonte: Adaptado de Pinheiro, 2019.

Os dados cartográficos referentes aos critérios foram compilados no Sistema de Referênciam Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), na projeção Universal Transverso de Mercator (UTM) conforme recomendação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). No software ESRI ArcGIS 10.3 (1.05 / 20105001 - licenciamento cessão direto uso programa computação), a ferramenta *Buffer* foi usada para gerar as faixas de restrições para os critérios restritivos. O mapa síntese restritivo foi elaborado usando a lógica booleana.

Para os critérios recomendados “distância da rede de drenagem”, “variação de declividade”, “distância das UC”, “distância de estradas” e “distância da área construída”, verificou-se as distâncias de cada aterro em função da distância de cada critério. Para isso usou-se a ferramenta *select by location* e as distâncias foram classificadas conforme as recomendações. Para os critérios “geologia”, “pedologia” e “geomorfologia” foram inseridas as localizações dos aterros e verificou-se sua situação em função das classes de cada critério.

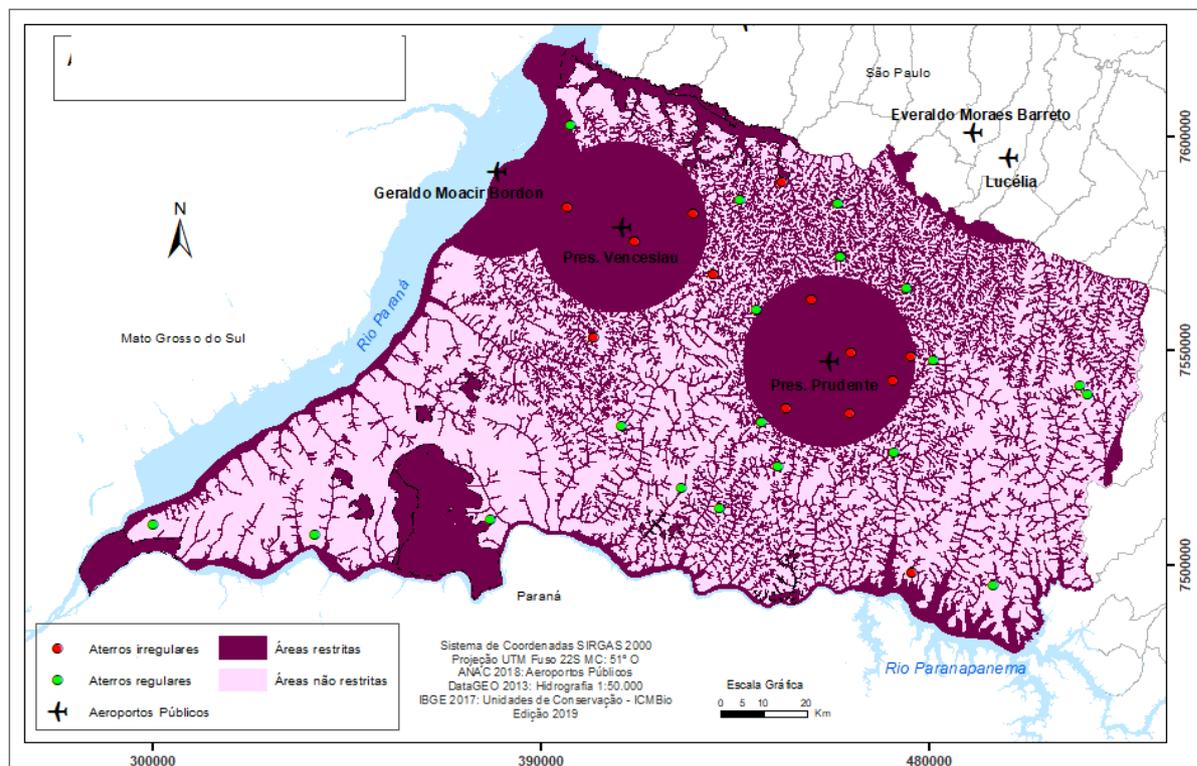
Os dados dos critérios “profundidade do freático”, “uso e cobertura da terra”, “variação da declividade” e o mapa síntese com níveis de adequabilidade ambiental e socioeconômico (Mapa Síntese de Recomendação) foram disponibilizados por Pinheiro (2019), cujo trabalho apresenta informações sobre o tratamento e geração dos produtos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

LOCALIZAÇÃO DOS ATERROS DA REGIÃO A OESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO SEGUNDO RESTRIÇÕES LEGAIS

Verificou-se que 19% dos aterros da região a oeste do estado de São Paulo estão em área legalmente restrita em relação à distância de rede de drenagem (Figura 2). Estes aterros estão a menos de 200 metros de um corpo d’água, que corresponde ao mínimo previsto na NBR 13.896/97.

Figura 2 - Localização dos aterros em função do mapa síntese restritivo.



Org.: Autores, 2019.

O lixiviado, proveniente da decomposição dos materiais orgânicos e inorgânicos de um aterro, é um poluente que afeta os recursos naturais, como águas superficiais e subterrâneas, e a saúde da população (NAVEEN et al., 2017). Ademais, quando não instalado e gerido de maneira adequada, o lixiviado pode infiltrar no solo e contribuir diretamente para a contaminação das águas subterrâneas (ZAMRI et al., 2017).

Portanto, quanto mais próximo o aterro estiver dos recursos naturais ou da população, maior o risco de contaminação, podendo atingir a população de maneira direta ou indireta.

Em relação às áreas de segurança aeroportuária, verificou-se que 28% dos aterros da região a oeste do estado de São Paulo estão em áreas restritas legalmente, segundo a Lei Federal nº12.725/2012 (Figura 2). Esse critério de restrição está diretamente relacionado com a possível atração de aves aos aterros, que podem interferir ou colidir com aeronaves. Dentre os aeroportos, o que está localizado no município de Presidente Prudente possui maior quantidade de aterros infringindo a ASA (seis aterros).

Apesar de nenhum aterro da região infringir os limites das UC, de todos os aterros, aproximadamente 41% estão em áreas legalmente restritas (Figura 2). Além disso, dois dos aterros infringem tanto o critério “distância da rede de drenagem” quanto o de “distância dos aeródromos”. Outro agravante, é que um dos aterros está classificado como Inadequado no IQR da CETESB e o outro aterro, apesar de estar classificado como adequado no IQR, tem a mínima pontuação requisitada para esta classificação (7,1). Este resultado aponta que ambos os municípios não apresentaram todas as condições ambientais e operacionais adequadas do aterro.

LOCALIZAÇÃO DOS ATERROS DA REGIÃO A OESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO SEGUNDO RECOMENDAÇÕES

Em relação aos critérios recomendados pelas leis, normas, resoluções e literatura, a Figura 3 apresenta a localização dos aterros em função de cada critério. Apesar do critério “distância da rede de drenagem” ter sido avaliado como critério restritivo, também foi considerado como critério recomendado, conforme as condições descritas no método. Com isso verificou-se que além dos 19% dos aterros que infringem a distância de 200 metros de um corpo d'água, outros 19% dos aterros estão à uma distância entre 200 metros e 800 metros. Este resultado mostra que quase 40% dos aterros estão há menos de 1 quilômetro de uma rede de drenagem (Tabela 1; Figura 3 - A).

Para os critérios “variação de declividade” verificou-se que a faixa recomendada para construção de aterro é entre 1% e 10%. Este critério está diretamente relacionado com características de engenharia para a construção do aterro (NBR 13.896/97). Portanto, na região de estudo, 94% dos aterros encontram-se dentro da faixa recomendada, facilitando sua construção e operação (Tabela 1; Figura 3 - B).

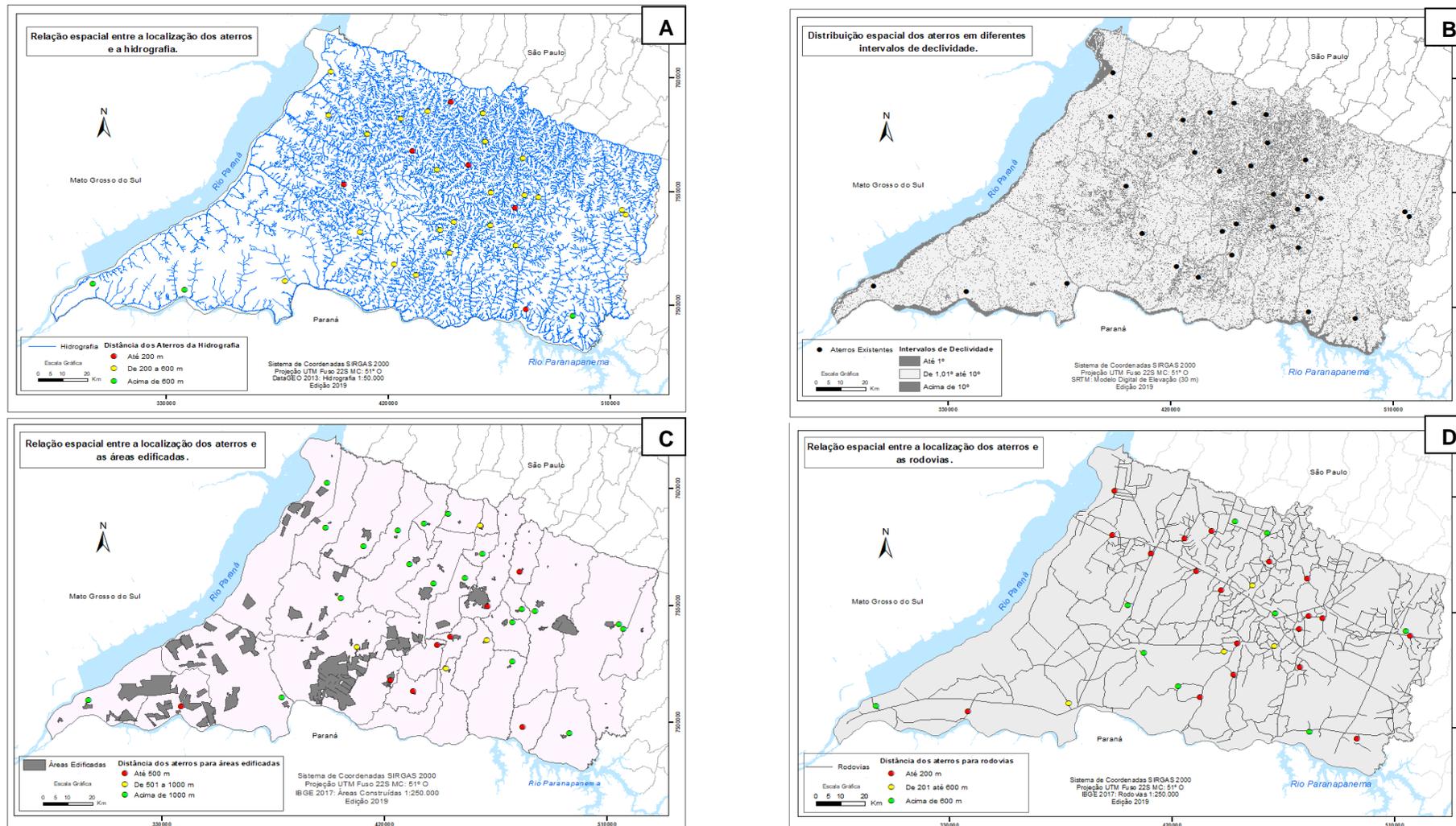
Tabela 1 - Quantidade e percentual de aterros para os critérios recomendados: distância de rede de drenagem, declividade, distância de área edificada.

Critério	Faixa de recomendação	Aterros (unid.)	Percentual (%)
Distância da rede de drenagem	Até 200 m	6	19
	200 m à 800 m	6	19
	Acima de 800 m	20	63
Variação de Declividade	Até 1%	1	3
	1% até 10%	30	94
	Acima de 10%	1	3
Distância da área construída	Até 500 m	8	25
	500 m à 1.000 m	4	13
	Acima de 1000 m	20	63
Distância de estradas	Até 200 m	22	69
	200 m à 600 m	7	22
	Acima de 600 m	3	9

Fonte: Autores, 2019.

Nível de adequabilidade socioambiental de áreas de aterros em operação

Figura 3 - Localização dos aterros em função dos critérios recomendados.



Org.: Autores, 2019.

A instalação de um empreendimento como o aterro sanitário pode causar impactos direto à população, como a atração de vetores e doenças, poluição do ar, solo e água. Além da prerrogativa da PNRS em evitar danos à saúde da população, a NBR 13.896/97 estabelece a distância mínima de 500 metros de núcleos populacionais. Dessa forma, para o critério “distância da área construída”, foram consideradas as áreas edificadas dos municípios e os assentamentos rurais. Dos 32 aterros existentes, 25% dos aterros estão na faixa de recomendação mínima (500 metros). Porém 63% estão localizados a uma distância acima de 1.000 metros, ou seja, o dobro da distância recomendada (Tabela 1; Figura 3 - C).

Uma das importâncias em se considerar o critério “distância de estradas” é por ser a principal forma de acesso ao empreendimento (aterro). Conforme o número de viagens necessárias para levar os resíduos, esse é um critério muito utilizado durante a avaliação da operação do aterro (NBR 13.896/97). O aterro não deve estar localizado muito próximo às estradas para evitar que resíduos mais leves, como, por exemplo, sacolas plásticas, sejam levados pelo vento e atrapalhem o trânsito, principalmente em estradas mais movimentadas. Todavia, não é interessante que o aterro esteja localizado em áreas com acessos difíceis ou restritos. Quando muito distante de estradas, mais problemas de transporte e logística podem estar associados, com maior consumo de combustível e possibilidade de acidentes, refletindo diretamente no aumento do custo de operação do aterro. Do total de aterros existentes, 69% estão à menos de 200 metros de distância de estradas, e apenas 3% acima de 600 metros de distância de estradas (Tabela 1; Figura 3 - D).

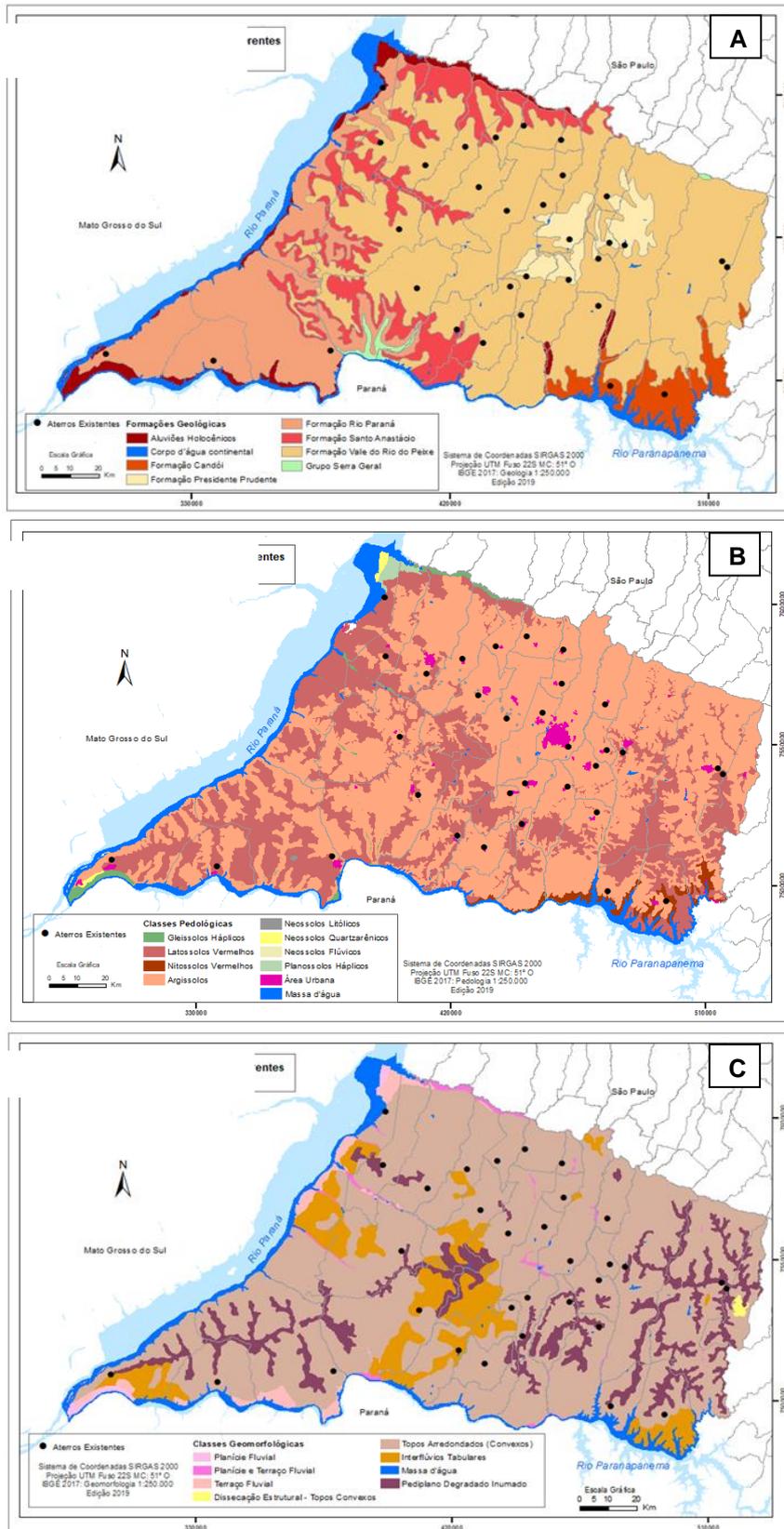
A região em estudo é composta por rochas da bacia sedimentar do Paraná, dos quais 93,6% do afloramento rochoso pertence a unidade litoestratigráfica do Grupo Bauru (IPT, 1981). As formações do Grupo Bauru possuem características de arenitos finos e muito finos, que podem contribuir com processos erosivos e favorecer os processos de lixiviação em aterros (FERNANDES e COIMBRA, 2000). Os aterros analisados estão localizados principalmente nas formações Vale do Rio do Peixe (59%) e Presidente Prudente (16%) (Tabela 2; Figura 4 - A). Embora essas formações sejam fisicamente semelhantes, a formação Presidente Prudente é mais friável e suscetível aos processos erosivos, além de abrigar no interior do maciço um conjunto maior de pequenos lençóis freáticos relativamente próximos da superfície (OLIVEIRA et al., 2017).

Tabela 2 - Distribuição dos aterros em função dos critérios recomendados de ordem físico-geográfica.

Critério	Classificação	Aterro (unid.)	Percentual (%)
Geologia	Aluviões Holocênicos	1	3
	Formação Candoi	2	6
	Formação Presidente Prudente	5	16
	Formação Rio Paraná	3	9
	Formação Santo Anastácio	2	6
	Formação Vale do Rio do Peixe	19	59
Pedologia	Latosolos Vermelho (LV)	10	31
	Argissolo (P)	22	69
	Topos Arredondados (Convexos) (Dc)	28	88
Geomorfologia	Interflúvios Tabulares (Dt)	2	6
	Pediaplano Degradado Inumado (Pgi)	2	6
	Vegetação	1	3
Uso e cobertura da terra	Cultura	12	38
	Pastagem	13	41
	Solo Exposto	3	9
	Área Construída (assentamentos)	3	9

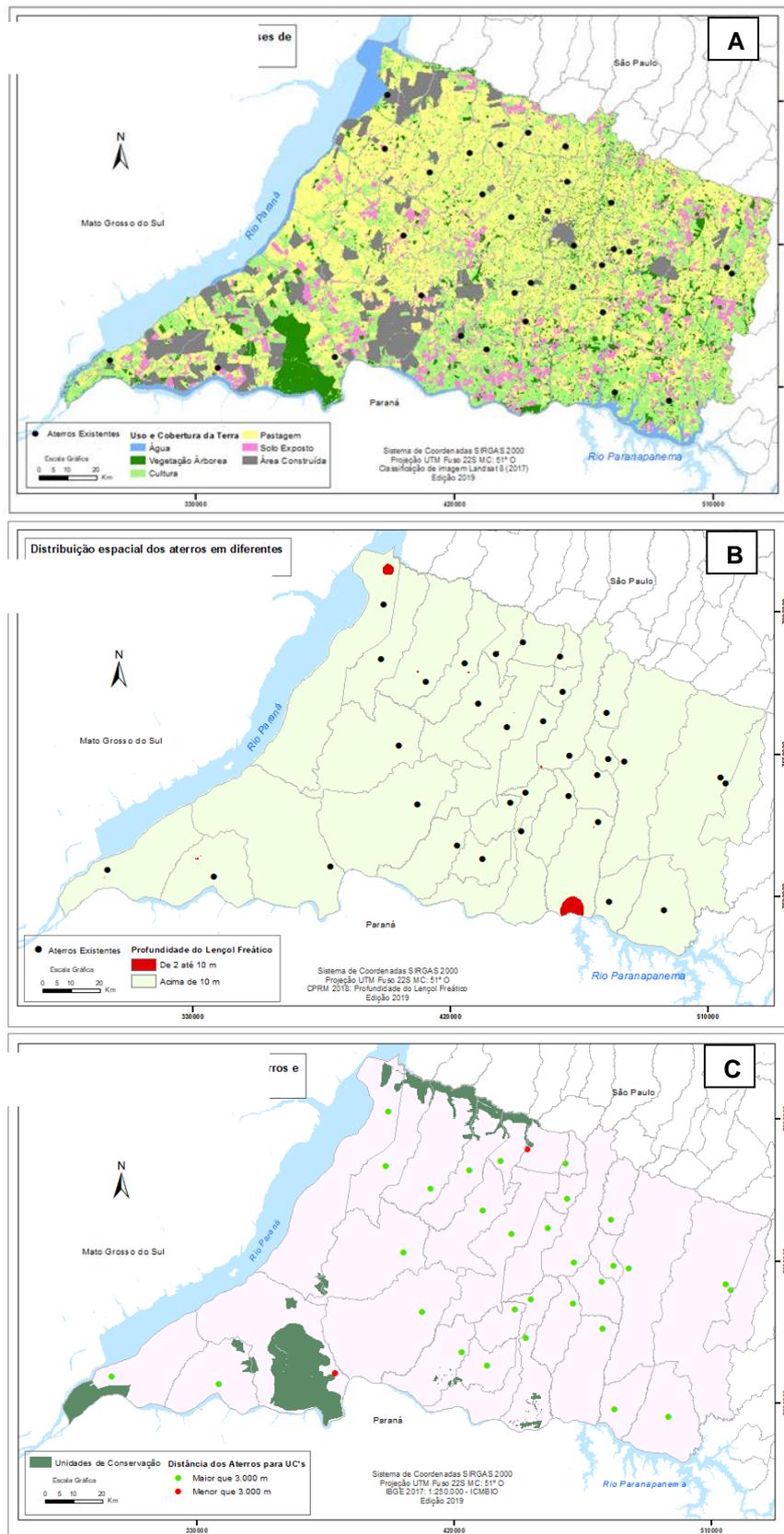
Fonte: Autores, 2019.

Figura 4 - Localização dos aterros em função dos critérios recomendados.



Org.: Autores, 2019.

Figura 5 - Localização dos aterros em função dos critérios recomendados.



Org.: Autores, 2019.

Em relação ao critério “pedologia” verificou-se que 69% dos aterros estão instalados em argissolos e 31% em latossolos vermelho (Tabela 2; Figura 4 - B). Essas duas classes de solos possuem características que favorecem a instalação de aterros sanitários, quando comparados com os outros tipos de solo da região. Os latossolos são bem desenvolvidos (solos profundos), bem drenados e com distribuição de argila de forma homogênea (IBGE, 2007). Os argissolos são menos profundos, porém possuem maior concentração de argila no horizonte B textural, o que contribui para a redução de velocidade de percolação na região (IBGE, 2007). Não obstante, ainda é necessário realizar ensaios técnicos que detalhem o nível de permeabilidade, priorizando regiões com o coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s quando da escolha de área para aterro, conforme recomenda a NBR 13.896/97.

Quanto ao critério “geomorfologia” (Tabela 2; Figura 4 - C), observou-se que 88% dos aterros estão em áreas de Topos Arredondados (Convexos). Esse tipo de morfologia é caracterizado pela presença de vales bem definidos (IBGE, 2009). Quando o aterro se encontra em fundo de vales, há maior preocupação quanto ao acúmulo de água nessas áreas. O lixiviado é formado pelo produto da água com os resíduos sólidos em decomposição (BRENNAN et al., 2016). Com isso, a maior concentração de água permite maior geração de lixiviado dos resíduos sólidos, possibilitando a contaminação do solo e lençol freático. Se não houver técnicas de coleta e tratamento do efluente, os recursos naturais serão contaminados. Apenas dois aterros estão instalados em regiões Interflúvios Tabulares e outros dois aterros na região de Pediplano Degradado Inumado. Estas regiões possuem características mais favoráveis à instalação de um aterro, pois possuem baixa densidade de rede de drenagem, pequena declividade e superfície aplainada.

Em relação ao uso e cobertura da terra, aproximadamente 80% dos aterros encontram-se em áreas classificadas como “cultura” (38%) e “pastagem” (41%) (Tabela 2; Figura 5 - A). Apesar dessas áreas normalmente serem mais planas e favoráveis para empreendimentos como aterros, ainda é necessário verificar a declividade do terreno em cada caso. Detectou-se que existe um aterro em uma área classificada como vegetação e 9% dos aterros em áreas classificadas como “áreas construídas”. Isso mostra que apesar de quase 80% dos aterros estarem em áreas favoráveis do ponto de vista de uso e cobertura do solo, 12% estão em áreas que interferem de forma direta do ponto de vista ambiental e social.

Quanto ao critério “profundidade do freático” verificou-se que o aterro mais próximo está acima de 16 metros de distância do freático. Apesar de os dados de profundidade do freático estarem acima do limite recomendado de 1,5 metros (NBR 13.896/97), usar esta variável como recomendação reforça a importância em se construir aterros o mais distante possível do nível do freático, em função de possíveis contaminações, se não manejado de forma adequada. O resultado mostra que quanto a este critério, os aterros da região oeste de São Paulo estão adequados quanto à restrição e quanto à recomendação (Figura 5 - B). O critério ambiental recomendado “distância de UC” (Figura 5 - C) aponta que apenas dois aterros estão na faixa de distância de 3.000 metros, ou seja, necessitaram de autorização do órgão responsável por sua administração

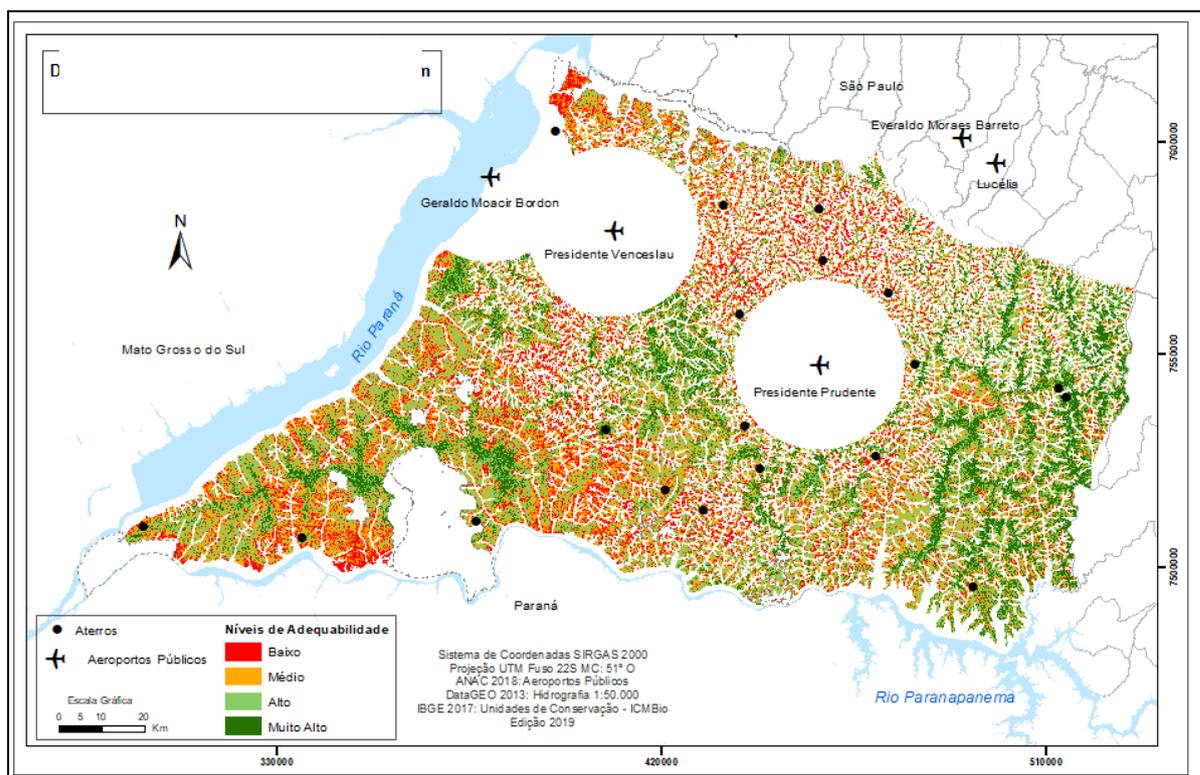
A região a oeste do estado de São Paulo possui um estudo que classifica a região em quatro níveis de adequabilidade ambiental e socioeconômico (baixo, médio, alto e muito alto) (Quadro 2) para implantação de aterro sanitário (PINHEIRO, 2019). Para verificarmos o nível de adequabilidade ambiental e socioeconômico dos aterros existentes nessa região, primeiro, excluimos dos 32 aqueles que estão em áreas restritas legalmente (total de 41%) (Figura 2), e constatou-se que, do restante, 25% dos aterros estão em áreas classificadas com alto nível de adequabilidade. Em seguida, temos o percentual de 16% de aterros com nível de adequabilidade médio, 13% com nível de adequabilidade baixo e 6% com nível de adequabilidade muito alto (Figura 6).

Quadro 2 - Principais características dos níveis de adequabilidade.

Níveis de Adequabilidade
Baixo: áreas com topografia acidentada e elevada declividade, solos rasos com tendência à erosão, em relevo fortemente ondulado. Terrenos muito drenados, terraços e planícies aluviais nos fundos de vale, muito próximos à áreas povoadas e estradas.
Médio: áreas com topografia pouco acidentada e menor declividade, solos relativamente rasos com menor ocorrência de processos erosivos. Relevo ondulado e bem dissecado e com densidade de drenagem. Pouco mais distantes de áreas povoadas e estradas.
Alto: áreas com topografia menos acidentada e baixa dissecção, com solos profundos e relevo variando de aplainado a plano. Maior ocorrência de processos pedogenéticos, com média densidade de drenagem e mais distantes de áreas povoadas.
Muito Alto: áreas com topografia pouco acidentada, solos profundos e relevo plano de colinas baixas. Com predominância de pedogênese, baixa densidade de drenagem, e mais distantes possíveis da população, mantendo proximidade mínima com estradas para facilitar o transporte e acesso.

Fonte: Adaptado de Pinheiro, 2019.

Figura 6 - Mapa Síntese de Recomendação.



Fonte: Adaptado de Pinheiro, 2019.

Observou-se que de 59% dos aterros localizados em áreas permitidas legalmente, a maioria (41%) está em áreas com níveis de adequabilidade médio a alto. Isso significa que os aterros estão em áreas que minimizam os impactos negativos ambientais e socioeconômicos da instalação de aterros. Porém, ainda ressalta-se a importância de estudos detalhados e específicos quando da ampliação de aterros, principalmente dos que se encontram em áreas legalmente restritas. Dessa forma, garante-se que os impactos negativos aos recursos naturais e à saúde da população sejam minimizados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluímos que há um elevado número (41%) de aterros em operação na região a oeste do estado de São Paulo localizados em áreas restritas legalmente, ou seja, que descumprem a legislação brasileira. Isso caracteriza maiores chances de danos ambientais graves, como contaminação dos recursos naturais e impactos socioeconômicos.

Em nosso estudo, foi verificada a localização de todos os aterros em operação em função de cada critério recomendado, o que proporcionou uma caracterização ambiental e socioeconômica em nível local, para cada aterro. Os critérios ambientais e socioeconômicos recomendados, embora não obrigatórios, podem contribuir com a minimização dos impactos negativos da implantação de um aterro.

Outro achado importante se deve a constatação de que mais de um terço dos aterros atuais são classificados como áreas de médio a alto nível de adequabilidade ambiental e socioeconômico. Essa evidência sugere que os impactos negativos são minimizados nessas áreas, evitando assim, danos ao meio ambiente e saúde da população.

Este trabalho apresenta um diagnóstico socioambiental dos aterros existentes e contribui para o planejamento de ações que possam minimizar os impactos negativos. Também evidencia a importância de estudos prévios como o EIA/RIMA antes da implantação de um empreendimento de impacto como o aterro sanitário. Como continuidade da pesquisa, sugere-se trabalhos de avaliação ambiental *in loco* dos aterros localizados em baixo nível de adequabilidade, como análises de qualidade do solo e qualidade da água.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - sob o número de concessão 1738689/2017-8.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Aterros de resíduos não perigosos** - Critérios para projeto, implantação e operação. NBR 13896: .1997, Rio de Janeiro, RJ.
- ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2017.
- ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil. **Cadastro de Aeródromos Públicos**. 2018. Disponível em :< <https://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/aerodromos>. Acesso em: 2 mai. 2018.
- BOSOMPEM, C.; STEMN, E.; FEI-BAFFOE, B. Multi-criteria GIS-based siting of transfer station for municipal solid waste: The case of Kumasi Metropolitan Area, Ghana. **Waste Management & Research**, v. 34, n. 10, p. 1054–1063, out. 2016. <https://doi.org/10.1177/0734242X16658363>
- BRASIL. Congresso Nacional. **Lei nº9.985 de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 jul. 2000.
- BRASIL. Congresso Nacional. **Lei nº12.305 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, 03 ago. 2010, p.2.
- BRASIL. Congresso Nacional. **Lei nº12.651 de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 mai. 2012.
- BRASIL. Congresso Nacional. **Lei nº12.725 de 16 de outubro de 2012**. Dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 out. 2012.

BRENNAN, R. B. et al. Management of landfill leachate: The legacy of European Union Directives. **Waste Management**, v. 55, p. 355–363, set. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.010>

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário de Resíduos Sólidos Urbanos**. São Paulo: CETESB. 126 pp. 2016.

_____. **Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos - IQR**. São Paulo: CETESB, 2017 Disponível em :< <https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/residuos-solidos/residuos-urbanos-saude-construcao-civil/mapa-de-destinacao-de-residuos-urbanos/>>. Acesso em: 27 mai. 2018.

COLVERO, D. A. et al. Use of a geographic information system to find areas for locating of municipal solid waste management facilities. **Waste Management**, v. 77, p. 500–515, jul. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.036>

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N°428, de 17 de dezembro de 2010**. Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC), de que trata o § 3º do artigo 36 da Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, bem como sobre a ciência do órgão responsável pela administração da UC no caso de licenciamento ambiental de empreendimentos não sujeitos a EIA-RIMA e dá outras providências. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 dez. 2010.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **RIMAS** (Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas). **SIAGAS** (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas). 2018. Disponível em :< <http://siagasweb.cprm.gov.br> >. Acesso em: 23 abr. 2018.

DATAGEO. Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo – IDEA-SP. **Base Territorial Ambiental Unificada. Rede de Drenagem de São Paulo**. 2013. Disponível em: < <http://datageo.ambiente.sp.gov.br> >. Acesso em: 28 ago. 2017.

_____. **Base Territorial Ambiental Unificada. Solos do Estado de São Paulo**. 2017. Disponível em: < <http://datageo.ambiente.sp.gov.br/> >. Acesso em: 28 ago. 2017.

ESKANDARI, M.; HOMAEI, M.; MAHMODI, S. An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environmental, economical and socio-cultural area. **Waste Management**, v. 32, n. 8, p. 1528–1538, ago. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.03.014>

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão Estratigráfica da parte Oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 4, p. 717–728, 1 dez. 2000. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/download/10990/10444>; <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2000304717728>

GUERRERO, L. A.; MAAS, G.; HOGLAND, W. Solid waste management challenges for cities in developing countries. **Waste Management**, v. 33, n. 1, p. 220–232, jan. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Portal de Mapas. **Localidades**. 2017a. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em:< ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2015/Shapefile/ >. Acesso em: 24 ago. 2017.

_____. Portal de Mapas. **Geologia**. 2017b. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais>. Acesso em: 24 ago. 2017.

_____. Portal de Mapas. **Geomorfologia**. 2017c. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais>. Acesso em: 24 ago. 2017.

_____. Portal de Mapas. **Massa d'água**. 2017d. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais>. Acesso em: 24 ago. 2017.

_____. Portal de Mapas. **Transporte**. 2017e. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em:<ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2015/Shapefile/>. Acesso em: 24 ago. 2017.

_____. Portal de Mapas. **Limites**. 2017f. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2015/Shapefile/>. Acesso em: 24 ago. 2017.

_____. **Censo**. 2010. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 23 abr. 2017.

_____. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de pedologia**. 2007. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=295017>>. Acesso em: 28 mai. 2018.

_____. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de geomorfologia**. 2009. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2018.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Unidades de Conservação**. 2018. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/geoprocessamentos/51-menu-servicos/4004-downloads-mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-uc-s>>. Acesso em: 21 nov. 2018.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado De São Paulo. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**: Escala 1: 500.000. São Paulo: IPT, 1981. 2v. (IPT Monografias, 6, Publicação, 1184).

JERIE, Steven; ZULU, Samu. Site Suitability Analysis for Solid Waste Landfill Site Location Using Geographic Information Systems and Remote Sensing: a Case Study of Banket Town Board, Zimbabwe. **Review of Social Sciences**, v. 2, n. 4, p. 19–31, maio 2017. <http://dx.doi.org/10.18533/rss.v2i4.99>

KARIMI, H. et al. Integrating GIS and multi-criteria decision analysis for landfill site selection, case study: Javanrood County in Iran. **International Journal of Environmental Science and Technology**, 12 dez. 2018. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2151-7>

KHAN, MD. M.-U.-H.; VAEZI, M.; KUMAR, A. Optimal siting of solid waste-to-value-added facilities through a GIS-based assessment. **Science of The Total Environment**, v. 610–611, p. 1065–1075, jan. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.169>

KHODAPARAST, M.; RAJABI, A. M.; EDALAT, A. Municipal solid waste landfill siting by using GIS and analytical hierarchy process (AHP): a case study in Qom city, Iran. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, n. 2, p. 52, jan. 2018. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7215-3>

KHOSHAND, Afshin. et al. Prevention of landfill pollution by multicriteria spatial decision support systems (MC-SDSS): development, implementation, and case study. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 9, p. 8415–8431, mar. 2018. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-1099-3>

NAVEEN, B. P. et al. Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate. **Environmental Pollution**, v. 220, p. 1–12, jan. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.002>

OLIVEIRA, R. C.; BOIN, M. N.; FELICIO, M. J. Landscape theory applied to the choice of areas for landfills. **Mercator**, Universidade Federal do Ceará, Brasil, v. 16, n. 7, p. 1–16, 15 jul. 2017.

OSCO, L. P. et al. Geoecological and legal approach to the study of solid waste landfill adequacy on the Pontal do Paranapanema watershed, São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.11, p. 835-849. 2018. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.3.p835-849>

PAVANI, I. D. et al. Allocation of sanitary landfill in consortium: strategy for the Brazilian municipalities in the State of Amazonas. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 1, p. 39, jan. 2019. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7146-9>

PINHEIRO, Mayara Maezano Faima. **Análise Multicritério Aplicada na definição de áreas para a implantação de aterro sanitário consorciado**. 2019. 46 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil. 2019.

- RAHMAT, Z. G. et al. Landfill site selection using GIS and AHP: a case study: Behbahan, Iran. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 21, n. 1, p. 111–118, jan. 2017. <https://doi.org/10.1007/s12205-016-0296-9>
- SAATSAZ, M. et al. Site suitability evaluation of an old operating landfill using AHP and GIS techniques and integrated hydrogeological and geophysical surveys. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 3, p. 144, mar. 2018. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6505-x>
- 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, p. 43-55, 2008. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44882>>
- SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. 2016. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2016>>. Acesso em: 26 mar. 2018.
- TORABI-KAVEH, M. et al. Landfill site selection using combination of GIS and fuzzy AHP, a case study: Iranshahr, Iran. **Waste Management & Research**, v. 34, n. 5, p. 438–448, maio 2016. <https://doi.org/10.1177/0734242X16633777>
- USGS - United States Geological Survey. 2017. **EarthExplorer**. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em 09 abril 2017.
- YAZDANI, M. et al. Landfill site suitability assessment by means of geographic information system analysis. **Solid Earth**, v. 6, n. 3, p. 945–956, 30 jul. 2015. <https://doi.org/10.5194/se-6-945-2015>
- YILDIRIM, V. et al. Municipal solid waste landfill site selection using multi-criteria decision making and gis: case study of bursa province. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, v. 26, n. 2, p. 107–119, 27 jun. 2018. <https://doi.org/10.3846/16486897.2017.1364646>
- ZAMRI, M. F. M. A. et al. Semi-aerobic stabilized landfill leachate treatment by ion exchange resin: isotherm and kinetic study. **Applied Water Science**, v. 7, n. 2, p. 581–590, maio 2017. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0266-2>

Recebido em: 12/10/2019

Aceito para publicação em: 13/04/2020