

ANÁLISE DA APTIDÃO DE ÁREAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE TAUÁ (CE) COM USO DE SIG

ANALYSIS OF SUITABILITY OF AREAS FOR IMPLEMENTATION OF A SANITARY LANDFILL IN THE MUNICIPALITY OF TAUÁ (CE) USING SIG

Hillary Silvério de Azevedo*
Thiago Fernandes da Silva**
Karina Albuquerque da Silva***

RESUMO

Com o ritmo de consumo exagerado e cada vez mais descartável, aumenta-se a quantidade de resíduos sólidos gerado, acarretando em uma série de problemas, relacionados à dificuldade de implementar soluções adequadas para a disposição final dos resíduos sólidos. Nesse contexto, surge no Brasil, a Lei Federal N° 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que prevê a destinação final adequada, erradicando todos os lixões dentro do território nacional, vindo a substituí-los por aterros sanitários. Assim, o presente trabalho tem por objetivo identificar áreas aptas para instalação de um aterro sanitário no município de Tauá-CE, com auxílio do software Qgis, por meio da análise multicritérios aplicada a Lógica Booleana. A metodologia deste estudo consistiu no estabelecimento dos critérios de restrição, originando mapas booleanos com classificação de áreas aptas/não aptas. Logo, como resultado, foi possível estabelecer, de acordo com os requisitos estudados, uma área de 1.386,00 km², cerca de 60% do território total do município, com classificações variando entre razoavelmente favorável, favorável e muito favorável. Assim, pode-se concluir que a análise multicritério aplicada à lógica booleana, juntamente com o uso do software Qgis, se mostraram ferramentas adequadas e eficientes na localização de áreas aptas a instalação de um aterro sanitário.

Palavras-chave: resíduos sólidos; lógica booleana; *software Qgis*;

ABSTRACT

With the rate of exaggerated and increasingly disposable consumption, the amount of solid waste generated increases, leading to a series of problems related to the difficulty of implementing adequate solutions for the final disposal of solid waste. In this context, Federal Law N° 12.305, of August 2, 2010, emerged in Brazil, which established the National Solid Waste Policy (PNRS), which provides for the eradication of all landfills within the national territory, replacing them by landfills. Thus, the present work aims to identify areas suitable for installing a landfill in the municipality of Tauá-Ce, with the help of Qgis software, through multi-criteria analysis applied to Boolean Logic. The methodology of this study consisted of establishing restriction criteria, generating Boolean maps with classification of

*Discente do Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Ceará – Campus Crateús – E-mail: hillarysilverio@alu.ufc.br.

**Prof. Dr. do Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Ceará – Campus Crateús – E-mail: thiagofernandes@crateus.ufc.br

***Prof^a. Ma. do Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Ceará – Campus Crateús – E-mail: karina.silva@crateus.ufc.br

suitable/unsuitable areas. Therefore, as a result, it was possible to establish an area of 1.386,00 km², around 60% of the municipality's total territory, with classifications varying between reasonably favorable, favorable and very favorable. Thus, it can be concluded that the multi-criteria analysis applied to Boolean logic, together with the use of Qgis software, proved to be adequate and efficient tools in locating areas suitable for the installation of a landfill.

Keywords: solid waste; boolean logic; *software Qgis*;

1 INTRODUÇÃO

Diversos fatores contribuem para o aumento dos resíduos sólidos urbanos, entre os quais se destacam o acelerado crescimento populacional, as transformações econômicas e as inovações tecnológicas. No entanto, a questão central que se enfrenta atualmente está relacionada ao acesso instantâneo à informação, que possibilita a otimização dos meios de produção e, conseqüentemente, gera na sociedade moderna a necessidade de descarte mais rápido de bens, levando à sua obsolescência à medida que novos produtos são lançados no mercado (Pereira, 2018; Silva *et al.*, 2020). Esse padrão de consumo excessivo e cada vez mais descartável resulta em uma série de problemas, especialmente no que tange à dificuldade de implementar soluções adequadas para a disposição final dos resíduos gerados (Freitas, 2019; Oliveira, 2021).

Nesse contexto, surge no Brasil, a Lei Federal N° 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), trazendo ao país uma série de inovações no âmbito da gestão e do gerenciamento desses resíduos, constituindo um campo de análise de particular relevância. A PNRS estabelece uma hierarquia para a gestão de resíduos, priorizando a não geração, redução, reaproveitamento, reciclagem, tratamento e destinação final adequada.

Todavia, mesmo adotando-se essa seqüência, permanece a necessidade de se dispor adequadamente os rejeitos, que é definido pela PNRS (2010), como os “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.” Por essa razão, a lei prevê a erradicação de todos os lixões dentro do território nacional, vindo a substituí-los por aterros sanitários, uma vez que, para Soares *et al.* (2017), os mesmos apresentam custos relativamente baixos e pelo fato de o país, aparentemente, possuir áreas livres, abundantes e propícias para este fim.

Com isso, nos últimos anos houve um aumento no número de estudos relacionados à identificação de áreas para a instalação de aterros sanitários nos municípios brasileiros (Frasson *et al.*, 2001; Calijuri *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2005; Santos e Girardi, 2007; Schueler e Mahler, 2009). Muniz (2013), considera a escolha de um local para a criação de um aterro sanitário como uma tarefa de alta complexidade, pois envolve a participação de equipes multidisciplinares, somando-se a isso as questões de ordem econômica, estrutural e política.

Na maior parte das vezes, a escolha do local para a instalação de um aterro sanitário, é reduzida de alternativas pré definidas, em virtude das dificuldades em avaliar simultaneamente todo o território. Logo, para tornar essa tarefa mais simples, utiliza-se tecnologias de Geoprocessamento interligadas com uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG) que, segundo Weber (2003), possibilitam sensíveis ganhos em tempo e qualidade dos resultados, permitindo a realização de avaliações complexas em grandes extensões territoriais.

Assim, este estudo tem como objetivo identificar áreas aptas para instalação de um aterro sanitário, justificando-se como contribuição para o Consórcio Público de Manejo dos Resíduos Sólidos do Sertão dos Inhamuns (CPMRS -SI), servindo como instrumento de apoio na tomada de decisões na escolha de áreas apta a instalação do aterro do consórcio, localizado no município de Tauá (CE), com o auxílio de um SIG e com base nos critérios e normatizações da

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

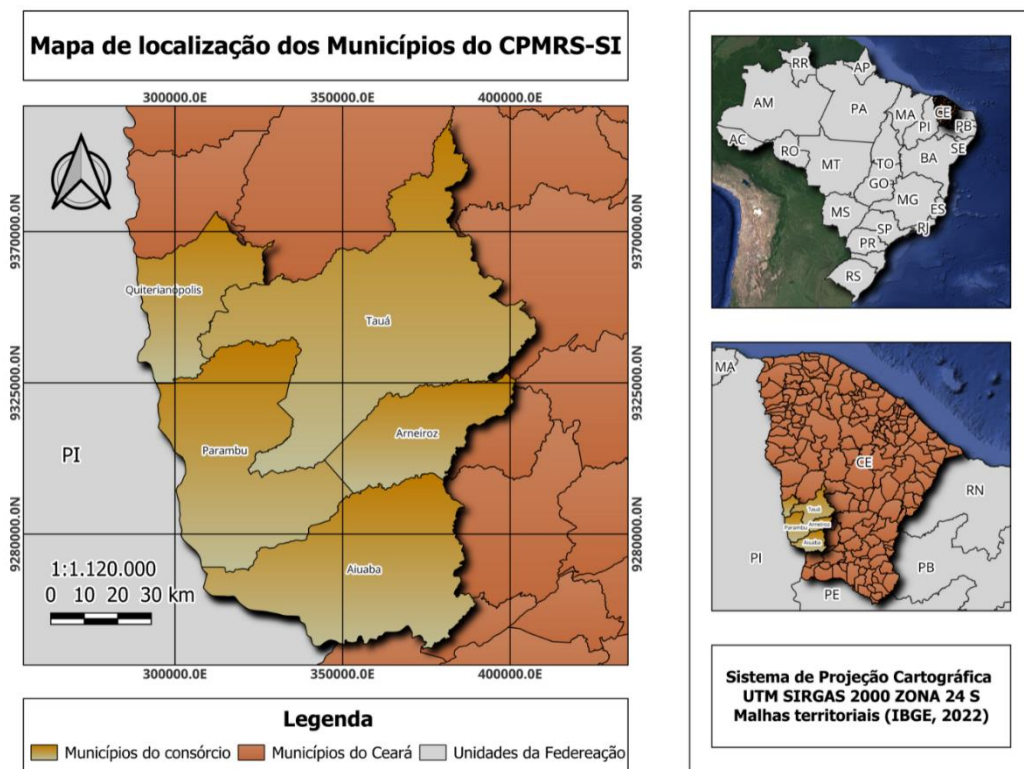
2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização da área de estudo

A Lei Estadual N° 154, de 20 de outubro de 2015, define as regiões do Estado do Ceará e suas composições municipais para fins de planejamento. Assim, a regionalização do Sertão dos Inhamuns foi fixada em cinco municípios: Aiuaba, Arneiroz, Parambu, Quiterianópolis e Tauá (Figura 01). Segundo dados do Instituto de Pesquisa e Estatística do Estado do Ceará (IPECE, 2022), a região compreende uma área territorial de 10.863 km² e uma população aproximada de 134.390 habitantes.

Ainda segundo dados do IPECE (2022), a região está inserida no bioma caatinga, apresentando clima semiárido com precipitações médias anuais baixas, variando de 800 a 1200 mm, com a maior parte das chuvas ocorrendo entre fevereiro e maio. Arelado a isso, a região apresenta altas temperaturas médias anuais, girando em torno de 26° a 28°C, e possui grandes áreas rurais para as atividades de natureza agropastoril, sendo referência na criação e produção de Ovinos e Caprinos.

Figura 01 - Localização dos municípios que compõem o CPMRS-SI.



Fonte: Autora, 2024.

Segundo o Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Região dos Inhamuns (2012), o município de Tauá foi escolhido para a instalação do aterro sanitário em virtude de suas razões socioeconômicas, históricas, culturais e características geográficas, bem como seu poder de centralidade das demais cidades que integram o CPMRS -SI, sendo a distância média ao município polo de 73,05 km.

2.2 Uso de SIG's para confecção dos mapas e aquisição de dados

O geoprocessamento pode ser definido como o ramo da ciência que estuda o processamento de informações georreferenciadas através da utilização de aplicativos (normalmente Sistemas de Informações Geográficas – SIGs), equipamentos (computadores e periféricos), dados de diversas fontes e profissionais especializados (PIROLI, 2010). Segundo Schmidt (2016), seu uso na identificação de áreas aptas à implantação de aterros sanitários, justifica-se como instrumento capaz de realizar análises físico-territoriais.

Nesse sentido, para a identificação de áreas que contenham características tão específicas, como a de um aterro sanitário, o uso de SIG's mostra-se de grande auxílio, uma vez que, o SIG é uma coleção de software, hardware, dados geográficos e profissionais que facilitam a tomada de decisão envolvendo informações georreferenciadas (LOPES, 2022).

Assim, o SIG utilizado neste trabalho, para a confecção dos mapas foi o software *Quantum Geographic Information System* (QGIS), que é amplamente utilizado para análise espacial e geoprocessamento, justificando-se como um software de código aberto e gratuito, além de realizar análises de localização, modelagem e avaliação de fatores ambientais, fundamentais para a escolha adequada de áreas para aterros. Os dados de entrada utilizados para a modelagem da região no software são mostrados no Quadro 01.

Quadro 01 - Dados coletados para a confecção dos mapas.

Dados	Aplicação	Fonte dos dados
Malhas territoriais	Limite de municípios do Ceará	IBGE (2022)
Modelo Digital de Elevação (MDE)	Criação do mapa de declividade	Embrapa (2008)
Shapefile de Drenagem fluvial	Criação do mapa de Drenagem Fluvial	IPECE (2022)
Shapefile Rodovias Pavimentadas	Criação do mapa de Trechos Rodoviários	IPECE (2022)
Shapefile Mancha Urbana	Criação do mapa de mancha urbana	IPECE (2022)

Fonte: Autora, 2024.

2.3 Procedimentos metodológicos

Levando em consideração as normas vigentes e as condições ambientais, sociais e econômicas da região, o presente estudo foi desenvolvido utilizando a análise multicritérios, onde Gonçalves (2007), cita que essa análise pode ser implementada num SIG através de um dos dois procedimentos, sendo eles a Sobreposição Booleana e a Lógica Fuzzy.

Porém, ao realizar estudos bibliográficos, foi possível concluir que ao utilizar a Lógica Fuzzy, obtém-se uma conclusão vaga e imprecisa, deduzida de uma coleção de premissas, também imprecisas, representadas pelos conjuntos fuzzy (Takács, 2004). Por essa razão, optou-se por utilizar o procedimento de Sobreposição Booleana, por ser uma lógica de implementação relativamente simples juntamente com o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e fazendo uso do software livre QGIS.

Na Sobreposição Booleana os critérios são adaptados em termos da aptidão, combináveis sequencialmente, através de operadores condicionais: AND (Interseção), OR (união), NOT (negação) e XOR (exclusão), os quais permitem demonstrar um cenário ou

hipótese (MOREIRA *et al.*, 2002). Segundo Lopes (2022), por meio dessa lógica um elemento está dentro ou fora de um dado conjunto, sendo considerados como sistemas bivalentes com seus próprios estados alternando entre inclusão ou exclusão.

Para implementação desse procedimento, definiu-se os seguintes critérios (Tabela 01), com base na Norma da ABNT NBR 13.896 (ABNT, 1997) que dispõe sobre aterros de resíduos não perigosos abordando critérios para projeto, implantação e operação. Logo, os planos de informação classificados como restritivos têm um caráter booleano e excluem as áreas que, devido às limitações técnicas ou legais, não são viáveis para a destinação de resíduos sólidos, atribuindo o valor binário 0 para áreas de exclusão e 1 para áreas favoráveis.

Tabela 01 – Critérios para seleção de áreas aptas a instalação de um aterro.

Critérios	Classes	Valores Binários
Proximidade de cursos d'água (m)	Abaixo de 200 m	0
	Acima de 200 m	1
Distância do centro urbano (m)	Abaixo de 2000 m	0
	Acima de 2000 m	1
Declividade do terreno (%)	Abaixo de 3%	0
	Entre 3 e 8%	1
	Entre 8 e 20%	1
	Acima de 45%	0
Distância de estradas (m)	Abaixo de 50 m	0
	Entre 100 e 500 m	1
	Acima 1000 m	0

Fonte: Autora, 2024.

Durante a definição dos critérios, Oliveira Neto (2011) cita que a preocupação com a distância entre a fonte geradora de resíduos sólidos urbanos e a área onde será implantado o aterro sanitário merece grande destaque, pois pode inviabilizar o empreendimento. Isso ocorre, pois distâncias longas podem gerar gastos excessivos com combustível, aumentando o tempo entre as coletas. Já as distâncias curtas podem causar prejuízos e danos à população que mora adjacente ao aterro devido às condições de insalubridade e depreciação do valor de imóveis (LOPES; SILVA, 2020). Assim, áreas localizadas abaixo de 2000 metros dos centros urbanos foram consideradas inadequadas e áreas situadas acima de 2000 m foram classificadas como favoráveis.

Em relação à proximidade de cursos d'água, a ABNT NBR 13896/1997, recomenda uma distância mínima de 200 m. Por isso, áreas localizadas a uma distância inferior a 200 m foi classificada como inapta, recebendo o valor binário 0 e áreas localizadas a distâncias superiores a 200 m foram classificadas como favorável, recebendo o valor binário 1. Por fim, foram considerados inaptos distâncias de estradas inferiores a 50 m ou superiores a 1.000 m. Segundo Tshako (2004) esta distância é ideal, pois facilita o acesso ao terreno sanitário pelos caminhões e contribui para o bloqueio visual do aterro sanitário.

Logo, as camadas vetoriais de drenagem fluvial, mancha urbana e rodovias pavimentadas, foram inseridas no *software* QGIS versão 3.38.2, onde inicialmente delimitou-se a área de estudo do município de Tauá e em seguida, realizou-se a interseção de todas as camadas vetoriais com o limite municipal, a fim de que fosse possível reprojeter os Sistemas de Projeção Cartográfica e Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) para UTM zona 24S e Sirgas 2000, EPSG 31984. Feito isso, as camadas vetoriais foram dissolvidas para que os atributos ou limites comuns resultem em uma única entidade.

Já para a delimitação da declividade, foi inserido o Modelo Digital de Terreno (MDE) do município de Tauá, que devido a sua localização, fez-se necessário acessar 4 folhas cartográficas, conforme mostra a Tabela 02. Posteriormente, utilizando os comandos “*raster – Miscelânea - Mosaico*” foi possível mesclar as folhas, para que fosse possível recortar o MDE dentro do limite do município, a fim de se calcular a declividade a partir do MDE, no comando “*raster – Análise - Declividade*”, onde foi gerado valores de declividade para a região, variando de 0 a 39%.

Tabela 02 – Folhas Cartográficas do município de Tauá.

Folha	Nomenclatura	Escala
01	SB-24-Y-A	1:250.000
02	SB-24-Y-B	1:250.000
03	SB-24-V-C	1:250.000
04	SB-24-V-D	1:250.000

Fonte: Autora, 2024.

A próxima etapa, foi transformar as camadas vetoriais em raster para facilitar a classificação das áreas. Para isso utilizou-se o caminho “*raster - converter vetor para raster*” e executando o processo em lote obteve-se todas as camadas no formato desejado. Em seguida, para os 3 critérios que utilizam distâncias para definição de áreas aptas e não aptas, foi utilizado a ferramenta “*buffer*” que permite a criação de áreas de influência ao redor de determinados pontos, linhas ou polígonos, conforme mostra a Tabela 03.

Tabela 03 – Buffer utilizado nos critérios de distâncias.

Critério	Valor do “Buffer” em metros (m)
Proximidade de cursos d’água	1200
Distância de estradas	6000
Distância dos centros urbanos	15000

Fonte: Autora, 2024.

Posteriormente, utilizando a “Calculadora Raster”, foi necessário gerar camadas para cada área proibida, selecionando as camadas de mancha urbana, drenagem fluvial e declividade, onde adotou-se os critérios mostrados da tabela 01, que obtiveram valores binários iguais a 0 (áreas proibidas). Essa ação gerou camadas com valores binários de 0 (Branco) e 1 (Preto).

Logo, por meio da “Calculadora Raster”, somou-se todas as camadas para se obter uma camada única com todas as proibições, onde observou-se em espectro de cores, a presença de áreas cinzas. Isso ocorre, pois algumas áreas são restritivas por mais de um critério. Utilizando novamente a “Calculadora Raster”, seleciona-se a camada única de proibições e define-se que tudo aquilo que for maior que zero é proibido, gerando novamente uma camada binária, onde tudo que ficou em branco são áreas proibidas e tudo que ficou em preto são possíveis áreas aptas.

Porém, dentro dessas possíveis áreas aptas, é necessário avaliar o grau de favorecimento. Por isso, utilizando a ferramenta “*r.reclass*”, se fez necessário reclassificar os critérios com novos valores binários, a partir de novas classes, conforme mostra a Tabela 04.

Tabela 04- Reclassificação dos critérios utilizados.

Crítérios	Classes	Valores Binários
Proximidade de cursos d'água (m)	< 200 m	0
	Entre 200 e 400 m	1
	Entre 400 e 800 m	2
	Acima de 1200 m	4
Distância do centro urbano (m)	< 2 km	0
	Entre 2 e 6 km	3
	Entre 6 e 10 km	4
	Entre 10 e 15 km	2
	Acima de 15 km	1
Declividade do terreno (%)	Entre 0 e 2%	4
	Entre 2 e 6%	3
	Entre 6 e 10%	2
	Entre 10 e 15%	1
	Acima de 15%	0
Distância de estradas (m)	Até 2 km	4
	Entre 2 e 4 km	3
	Entre 4 e 6 km	2
	Acima de 6 km	1

Fonte: Autora, 2024.

Além disso, atribuiu-se pesos aos critérios para produção dos mapas temáticos através da análise multicritério, para que seja possível a operação de um aterro sanitário, sendo estes valores estabelecidos com base nos trabalhos realizados por Cardoso *et al.* (2022), Neves (2022), Silva (2022), Torres (2020) e Dutra (2019), conforme ilustrado na Tabela 05.

Tabela 05 - Pesos atribuídos aos critérios de seleção.

Crítérios	Pesos
Proximidade de estradas/rodovias	25 %
Afastamento de centros urbanos	25%
Afastamento de corpos hídricos	30%
Declividade do terreno	20%

Fonte: Autora, 2024.

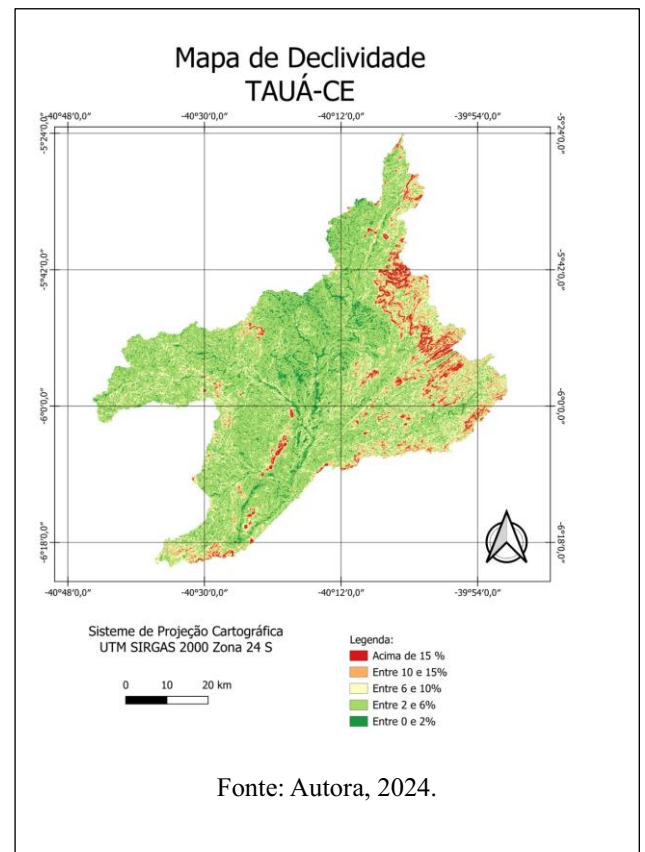
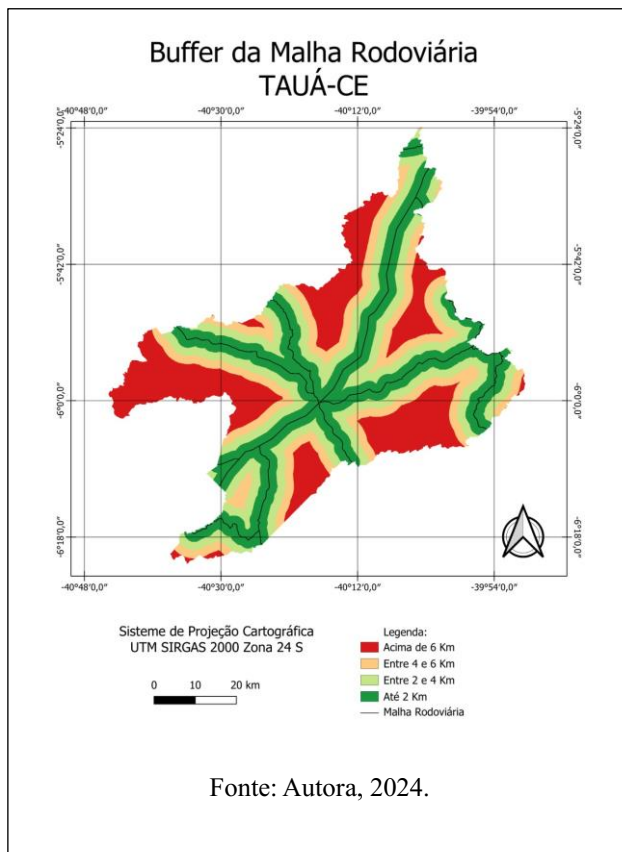
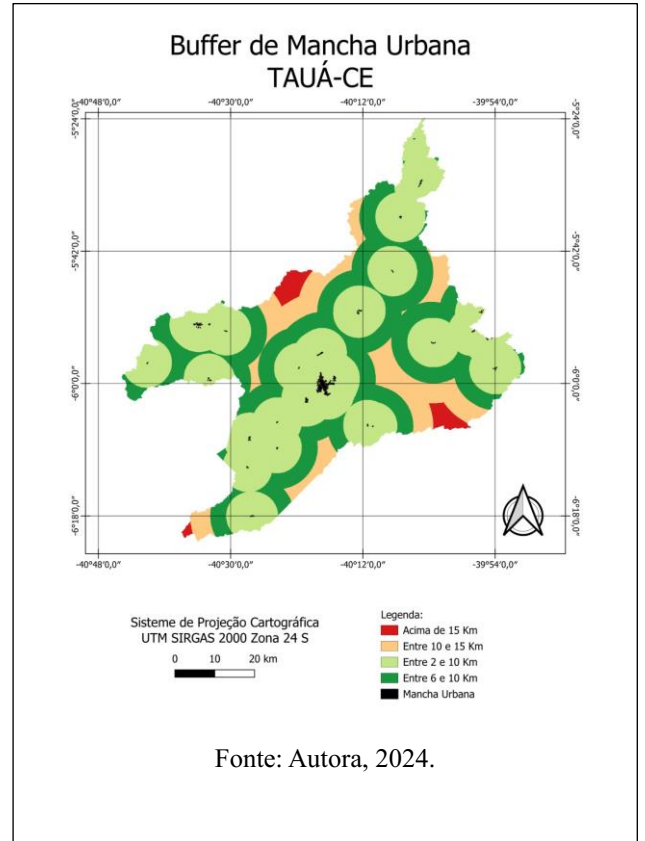
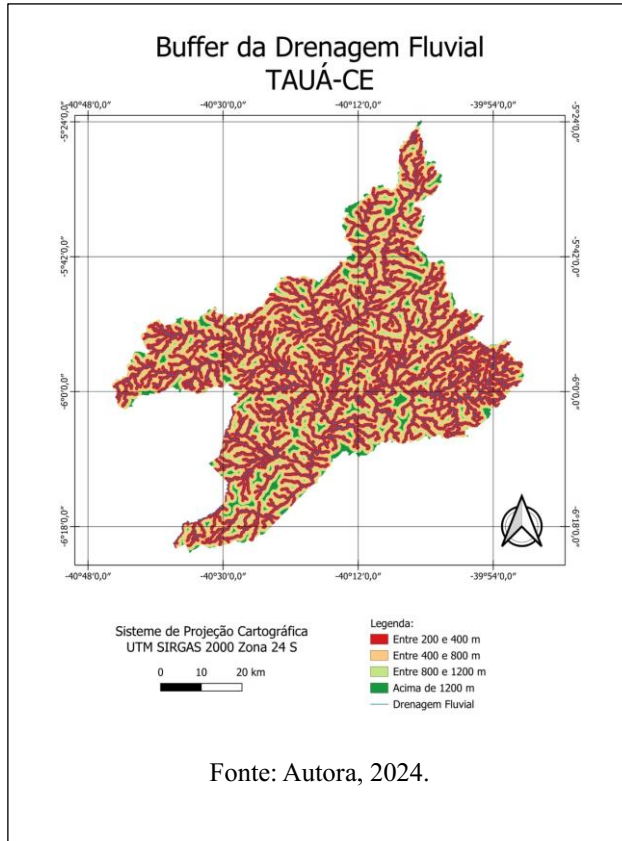
Por fim para encontrar o mapa final de aptidão, foi utilizado a “Calculadora Raster”, onde multiplicou-se os pesos definidos pelas camadas reclassificadas, por meio da seguinte equação:

$$(0.2 * \text{declividade_reclass@1} + 0.3 * \text{drenagem_reclass@1} + 0.25 * \text{mancha_reclass@1} + 0.25 * \text{rodovias_reclass@1}) * (\text{proibicoes_final@1} = 1) * \text{limites_raster@1}$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos “Buffers”, foram gerados mapas individuais, mostrados na Figura 02: a) drenagem fluvial, b) mancha urbana, c) rodovias e d) declividade, ambos com as classificações adotadas.

Figura 02 – Buffers gerados a partir da classificação adotada.



Para o buffer de drenagem fluvial (Figura 2 a), restringiu-se o distanciamento da rede de drenagem/corpos hídricos do município, onde o aterro deve estar localizado a uma distância mínima de 200 m. A partir disso, percebe-se uma grande espacialização no território para este critério, uma vez que o município está localizado na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, onde o Rio Jaguaribe e seus afluentes são fundamentais para a drenagem local e desempenham um papel crucial na manutenção dos recursos hídricos, mesmo em uma área de clima semiárido como a de Tauá.

Para o critério de mancha urbana, após a reclassificação, adotou-se o mínimo estabelecido pela NBR 13.896/1997, de 2.000 m, como sendo uma área proibida para implementação do aterro sanitário, com o objetivo de garantir a segurança da população mediante a expansão urbana e rural que possa surgir ao longo do tempo. Com isso, pode-se perceber, através do buffer de mancha urbana (Figura 2 b), que são poucas as áreas superiores a 15 km dos centros urbanos e que existem muitas áreas com distância de 6 a 10 km, que seria o ideal.

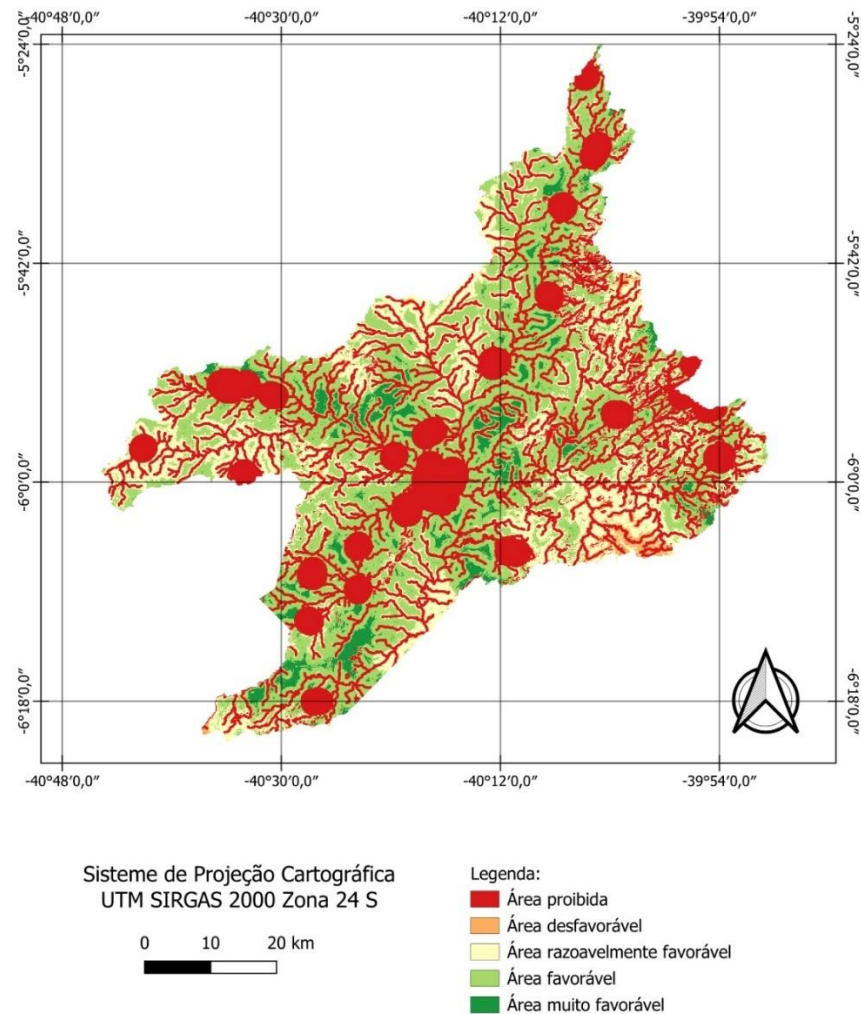
O critério de proximidade de estradas (Figura 2 c), não apresenta restrições em relação ao distanciamento, mas seria ideal que fosse realizado uma visita in loco para averiguar as condições físicas das estradas, se há possibilidades de grande fluxo diário de veículos pesados, sem que haja prejuízos ao tempo de rota e, ao bem material da empresa que realizar o serviço de coleta dos resíduos municipais.

Por fim, para o critério de declividade estabeleceu-se que áreas com declividade acima de 15% não são atrativas do ponto de vista de eficiência econômica e de logística, uma vez que segundo Rosa (2023), no momento de transportar os resíduos das áreas urbanas e rurais para o local do aterro sanitário, seria necessário maior consumo de combustível e maior tempo de transporte. Pela Figura 2 d, pode-se perceber que o município possui poucas áreas com a declividade desclassificatória e, grande quantidade de áreas com declividade variando entre 2 e 6%, que indica um relevo plano e suavemente ondulado, conforme a classificação estabelecida pela Embrapa.

Foram padronizados os critérios de aptidão e restrição com seus respectivos valores booleanos e através da ferramenta “Calculadora Raster” do software QGIS, que aplica a lógica booleana, foi possível obter o mapa de aptidão (Figura 03) para instalação do aterro sanitário na cidade de Tauá, beneficiando todos os municípios que fazem parte do Consórcio Público Municipal de Resíduos Sólidos do Sertão dos Inhamuns.

Figura 03: Mapa de aptidão de áreas para instalação do aterro sanitário no município de Tauá.

MAPA FINAL DE APTIDÃO TAUÁ-CE



Fonte: Autora, 2024.

Analisando a Figura 03, podemos perceber que o mapa divide o território em diferentes classes de aptidão. As áreas em vermelho, representam áreas proibidas e desfavoráveis, por estarem localizadas em regiões de grande importância ambiental, como por exemplo, áreas próximas a corpos hídricos. Segundo Pedroso et al. (2011), o principal impacto ambiental que o mau gerenciamento de um aterro sanitário pode ocasionar aos recursos hídricos é a contaminação por chorume, que são líquidos gerados pela decomposição dos resíduos, contendo substâncias tóxicas e poluentes. Se esses percolados alcançarem os corpos d'água, podem comprometer a qualidade da água, afetando ecossistemas aquáticos e a saúde humana.

A Figura 03, mostra vários círculos vermelhos, que correspondem as manchas urbanas e não apenas a sede municipal. Este motivo pode ser associado ao fato de grande parte dos distritos e localidades apresentarem serviços, infraestrutura e acessibilidade, para que os moradores permaneçam povoando aquele local, resultando na inclusão de áreas que não são urbanas no sentido estrito, mas que são relevantes para o planejamento e gestão do território.

Analisando do ponto de vista social, essas áreas foram consideradas inaptas devido à proximidade com áreas de maior densidade populacional, resultando em maior resistência das

comunidades devido a questões de saúde pública, odor, qualidade de vida e até prejuízos relacionados a desvalorização ou depreciação do valor de comércio dos imóveis. Porém, do ponto de vista econômico, as áreas mais favoráveis estão distribuídas principalmente em locais afastados das grandes concentrações populacionais, o que pode aumentar os custos de transporte dos resíduos até o local.

No entanto, essas áreas também são as que oferecem menos resistência ambiental e social, o que pode compensar os custos iniciais com a implantação do aterro. Além disso, a implementação de um aterro deve envolver diálogo com a população local, garantindo transparência no processo de escolha e execução do projeto, e buscando mitigar os impactos negativos citados.

De modo geral, as áreas em verdes são mais adequadas para a instalação de um aterro sanitário no município de Tauá, com base na aptidão ambiental e no menor risco de contaminação de recursos hídricos e solos. No entanto, é importante que, além dessa análise geográfica, sejam realizadas avaliações *in loco*, levando em consideração estudos de impacto ambiental (EIA/RIMA). Dessa forma, o aterro sanitário poderá atender às necessidades do município de maneira sustentável, econômica e socialmente responsável.

Após a geração do mapa mostrado na Figura 03, utilizando a ferramenta “r.report”, foi possível gerar o valor de cada área classificada no mapa de aptidão, que estão apresentadas na Tabela 06.

Tabela 06 – Áreas aptas à instalação de aterro sanitário no Município de Tauá, Ce.

Aptidão	Área (km²)	Área (%)
Área Proibida	1.539,9	38,95
Área desfavorável	27,35	0,69
Área razoavelmente favorável	1.174,78	29,72
Área Favorável	1.171,07	29,62
Área muito favorável	40,15	1,02
ÁREA TOTAL	3.953,25	100

Fonte: Autora, 2024.

O município de Tauá, apresenta uma disponibilidade de 3.953,25 km² para a implementação do aterro sanitário. Porém, para que atenda às normas de segurança, técnicas brasileiras e a legislação vigente, grande parte do território municipal (38,95%) foi classificado como área proibida para tal uso. Porém, considerando as classificações de áreas razoavelmente favorável, favorável e muito favorável, temos que aproximadamente 60,36% do território do município, é considerado apto para a instalação.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho realizou a identificação de áreas aptas para a instalação de um aterro sanitário no município de Tauá-CE, utilizando a análise multicritérios aplicada à Lógica Booleana e o software QGIS. Foram definidos critérios técnicos, ambientais e normativos baseados na legislação vigente e em normas da ABNT, o que permitiu classificar as áreas como favoráveis ou não para a implementação de um aterro sanitário. A seguir, destacam-se as principais conclusões obtidas:

- A metodologia da análise multicritérios aplicada à Lógica Booleana se mostrou eficaz na identificação de áreas adequadas para aterros sanitários, permitindo a consideração de múltiplos fatores.

- Aproximadamente 60% do território de Tauá foi considerado apto para a implementação de um aterro, com áreas classificadas em razoavelmente favoráveis, favoráveis e muito favoráveis.
- O uso do software QGIS facilitou a visualização e interpretação dos dados georreferenciados, sendo uma ferramenta bastante útil para o planejamento ambiental.
- A aplicação de critérios como a distância de corpos hídricos, áreas urbanas e rodovias permitiu a seleção de áreas com menor impacto ambiental, social e econômico.
- A metodologia utilizada pode ser reaplicada em outros municípios que enfrentam desafios semelhantes para a destinação final adequada de resíduos sólidos, promovendo um planejamento eficiente e sustentável.

Por fim, é possível afirmar que a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), especialmente por meio do software QGIS, desempenha um papel fundamental em projetos que afetam diretamente comunidades locais. Essa abordagem, revela-se como uma estratégia não apenas eficaz, mas também participativa, promovendo um diálogo aberto entre os diversos âmbitos da sociedade e assegurando que as decisões tomadas sejam fundamentadas em dados sólidos e representativos das realidades locais. Tal integração de métodos e tecnologias é essencial para garantir que as escolhas de locais para aterros sanitários sejam adequadas e sustentáveis, minimizando impactos negativos e fortalecendo a legitimidade do processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 1997.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm >. Acesso em: 06 de maio de 2024.

CARDOSO, Elienai Carvalho; BLANCO, Claudio José Cavalcante; FRIAES, Ellen Peixoto Pinon. **Seleção De Áreas Para A Construção De Aterros Sanitários Em Pequenos Municípios Da Amazônia.** Revista GeoAmazônia, v. 9, n. 18, p. 83-98, 2022.

DUTRA, Débora Joana et al. **Seleção de área para construção de aterro sanitário no município de Esmeraldas, MG, a partir da utilização de ferramentas de geoprocessamento.** Revista Geografica Acadêmica, v. 13, n. 2, p. 106-118, 2019. Disponível em: < <https://revista.ufr.br/rga/article/view/5827/2748> >. Acesso em: 17 de agosto de 2024.

EMBRAPA. **Relevobr: informações sobre a relevância das unidades de conservação. CNPMA, 2024.** Disponível em: < <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/ce/ce.htm> >. Acesso em: 15 de setembro de 2024.

Frasson, A. R.; Watzlawick, L. F.; Madruga, P. R. de A.; Schoeninger, E. R. Avaliação de áreas propícias à instalação de aterros sanitários utilizando técnicas de geoprocessamento em

sistemas eletroquímicos. **Revista Ciências Exatas e Naturais**. v. 3, n. 1, 88 p., 2001.

FREITAS, A. C. **Gestão de resíduos sólidos: desafios e soluções**. São Paulo: Editora Ambiental, 2019.

IBGE. **Malhas territoriais**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 15 de setembro de 2024.

IPECE. **Mapa Interativo**. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, [s.d.]. Disponível em: < <http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/ogc/index.php> >. Acesso em: 15 de setembro de 2024.

LOPES, Renata Costa. **Uso de sig na análise para implantação de aterro sanitário no município de Uberlândia-MG**. 2022. Disponível em: < <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/36424> >. Acesso em: 11 de abril de 2024.

LOPES, Renata Costa; SILVA, Raquel Naiara Fernandes. **Uso de lógica booleana na triagem de áreas aptas para a implantação de aterro sanitário no Município de Campina Verde, Minas Gerais, Brasil**. *EcoGestão Brasil*, v. 7, n. 16, p. 1-xx, 2023. Disponível em: <https://revista.ecogestaobrasil.net/v7n16/v07n16a03.pdf>. Acesso em: 13 de agosto de 2024.

MARQUES, Leonardo. **Descomplica QGIS. Escolha de Local para Instalação de ATERRO SANITÁRIO no QGIS [Análise Multicritério]**. 2021. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=qtcgyF1Q7Ac> >. Acesso em: 14 de setembro de 2024.

MOREIRA, F.R.S.; BARBOSA, C.; CÂMARA, G.; ALMEIDA FILHO, R. **Inferência Geográfica e Suporte à Decisão**. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos, 2002.

MUNIZ, C. A. L. **Análise comparativa dos métodos de fatores ponderados na seleção de áreas para aterros sanitários**. 2013. 118f. Dissertação. (Mestrado em Ciências em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

NEVES, Shewlyn Jenyele Rodrigues et al. **Identificação da aptidão de áreas à instalação de aterro sanitário no município de Prainha-PA utilizando avaliação multicritério e geotecnologias**. 2022. Disponível em: < <https://www.bdm.ufpa.br:8443/handle/prefix/3957> > Acesso em: 17 de agosto de 2024.

Oliveira Neto, J. T. **Determinação de áreas favoráveis à implantação de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos para o Município de Piumhi-MG**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011. (Monografia de especialização).

OLIVEIRA, R. L. **Políticas públicas e resíduos sólidos urbanos: uma análise crítica**. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 2021.

PEDROSO, K., TAVARES, C. R. G.; DE SOUZA, R. C.; DIAS, P. R. Z.; DA COSTA JR., E. F., VIOTTI, P. V. **Avaliação da tratabilidade do lixiviado do aterro de Maringá-PR com a utilização de coagulantes naturais**. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 3, n. 2, p. 47-52, 2011.

PEREIRA, T. A. Crescimento populacional e sua relação com a geração de resíduos. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, v. 13, n. 2, p. 50-65, 2018.

PIROLI, E. L. **Introdução ao geoprocessamento**. Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos, 2010.

ROSA, Thiago José Lima. **Identificação de potenciais áreas para implantação de aterro sanitário em Pau dos Ferros – Rn**, 2023.

SCHMIDT, Tanara. **Seleção de área e dimensionamento de aterro sanitário para o consórcio público intermunicipal para assuntos estratégicos do G8 – CIPAE G8**. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 15 dez. 2016.

SILVA, M. A.; SOUZA, J. C.; COSTA, L. F. Desafios da gestão de resíduos sólidos: uma perspectiva contemporânea. *Revista de Ciências Ambientais*, v. 22, n. 1, p. 15-30, 2020.

SOARES, F. R.; MIYAMARU, E. S.; MARTINS, G. Desempenho ambiental da destinação e do tratamento de resíduos sólidos urbanos com reaproveitamento energético por meio da avaliação do ciclo de vida na Central de Tratamento de Resíduos – Caieiras. *Revista Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 22, n. 5, p. 993-1003, 2017.

SOARES, F. R.; MIYAMARU, E. S.; MARTINS, G. Desempenho ambiental da destinação e do tratamento de resíduos sólidos urbanos com reaproveitamento energético por meio da avaliação do ciclo de vida na Central de Tratamento de Resíduos – Caieiras. *Revista Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 22, n. 5, p. 993-1003, 2017.

TAUÁ. Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Tauá. 2008.

TORRES, Wamon Salomão Dantas. **Seleção de áreas para implantação de aterro sanitário no Município de São João do Rio do Peixe-PB, utilizando técnicas de geoprocessamento. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. Disponível em: < <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/1444> >. Acesso em: 17 de agosto de 2023.

TSUHAKO, E. M. **Seleção Preliminar de Locais Potenciais à Implantação de Aterro Sanitário na Sub-Bacia de Itupararanga (Bacia do Rio Sorocaba e Médio Tietê)**. Mestrado (Dissertação). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 171p. 2004.