



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA
INSTITUTO DE TECNOLOGIA – ITEC
FACULDADE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

BRENO CORREA MACIEL

**DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA INSTALAÇÃO DE ATERRO
SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE ABAETETUBA/PA**

BELÉM/PA
2024

BRENO CORREA MACIEL

**DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA INSTALAÇÃO DE ATERRO
SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE ABAETETUBA/PA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental do Instituto De Tecnologia (ITEC) da Universidade Federal do Pará (UFPA/Belém), como requisito para obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Orientadora: Dr.^a Eng.^a Aline Christian Pimentel Almeida.

Coorientador: Eng. Esp. Yuri Antonio da Silva Rocha.

BELÉM/PA
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

BRENO CORREA MACIEL

**DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA INSTALAÇÃO DE ATERRO
SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE ABAETETUBA/PA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental do Instituto De Tecnologia (ITEC) da Universidade Federal do Pará (UFPA/Belém), como requisito para obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Orientadora: Dr.^a Eng.^a Aline Christian Pimentel Almeida.

Coorientador: Eng. Esp. Yuri Antonio da Silva Rocha.

Data da aprovação: 10/10/2024

Conceito: Excelente

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Aline Christian Pimentel Almeida
Orientadora – FAESA/ITEC/UFPA.

Eng. Esp. Yuri Antonio da Silva Rocha
Coorientador – IG/UFPA.

Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes
Membro interno – FAESA/ITEC/UFPA.

Prof.^a Dr.^a Aline Maria Meiguins de Lima
Membro externo – FAMET/IG/UFPA.

Me. Fernando Felipe Soares Almeida
Membro externo – PPGEC/UFPA.

*Dedico esse trabalho em primeiro lugar ao
senhor Bom Jesus, em forma de agradecimento.
A minha avó, Marcelina.*

Aos meus pais, Benedito e Vera Maria.

*Aos meus irmãos, Waneza, Rosivaldo, Robson,
Mayara, Bruno, Erik e Vanielle.*

*Aos meus sobrinhos, Elizabeth, Saymon, Bruno
Henrique, Wallace, Saulo e Maria.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão a Deus por Sua constante orientação e iluminação ao longo de minha jornada. Agradeço a sabedoria e aprendizado diário que Ele me proporciona, permitindo-me crescer a cada nova mudança e desafio. Sua força e direção têm sido essenciais para a realização de mais esse sonho.

Agradeço imensamente aos meus pais, Vera Correa e Benedito Maciel, pelo apoio incondicional e por sempre estarem ao meu lado em todos os momentos.

À minha avó, Marcelina Maciel, sou eternamente grato por minha criação e por me incentivar a sempre valorizar os estudos como a melhor escolha para minha vida.

Aos meus irmãos, agradeço pela amizade constante e pela compreensão da minha ausência em momentos festivos.

Ao meu amigo e irmão de coração, Madson Ferreira, minha gratidão por toda a ajuda, incentivo e paciência ao longo destes 9 anos de amizade. Sua presença foi importante para alcançar mais este objetivo. À Priscila Caroline, por todo apoio e amizade durante todos esses anos.

Às minhas amigas e engenheiras sanitária e ambiental Gabriele Fiel, Lara Grazielle, Palloma Cardoso e Vitória Portilho, obrigado pela oportunidade de ser amigo de vocês, pela assistência em todos os trabalhos acadêmicos que realizamos juntos e pelo incentivo a persistir na graduação. Minha admiração por vocês sempre foi sincera.

Aos amigos Felipe César e Veronica Viana, deixo aqui meus sinceros agradecimentos por todas as experiências compartilhadas, dentro e fora da Universidade em Belém. Vocês foram fundamentais para esta conquista.

A todos os colegas e amigos dos campi de Tucuruí e Belém que contribuíram, direta ou indiretamente, meu muito obrigado. Em especial ao Moisés Antonio do curso de oceanografia.

Aos meus amigos e aos meus superiores da prefeitura Multicampi da UFPA, em especial à minha chefe Nubia Barreto, meu agradecimento pela parceria e por todo o aprendizado ao longo desses quase dois anos de trabalho.

Por fim, à Professora e Doutora Aline Almeida e ao Engenheiro Ambiental Yuri Rocha, minha profunda gratidão pela orientação precisa e pelo apoio inestimável. Vocês, como minha orientadora e coorientador, foram fundamentais para o sucesso do meu Trabalho de Conclusão de Curso. A expertise e a paciência que ambos demonstraram durante minha orientação foi fundamental para alcançar este objetivo.

*“Somos o que fazemos, mas somos, principalmente, o que fazemos para mudar o que somos”
Eduardo Galeano.*

RESUMO

O aumento contínuo na geração de resíduos sólidos nas áreas urbanas é uma preocupação urgente, com sérias implicações tanto no âmbito ambiental quanto na saúde pública. A alternativa adequada para a disposição dos resíduos sólidos urbanos são os aterros sanitários, mas, devido ao intenso processo de urbanização, as áreas disponíveis para essa finalidade têm se tornado cada vez mais limitadas. Com isso, este trabalho tem como objetivo avaliar as áreas de adequabilidade para a instalação de um aterro sanitário no município de Abaetetuba – PA, utilizando Sistemas de Informações Geográficas e geoprocessamento por meio da análise de decisão envolvendo múltiplos critérios. A metodologia adotada neste estudo consiste na definição dos fatores e restrições, na padronização das variáveis (lógica *Fuzzy*), na comparação ponderada dos fatores através do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e na agregação dos fatores e restrições. Esse método possibilitou a elaboração de mapas temáticos para cada um dos critérios, a fim de facilitar a interpretação e a comparação dos critérios adotados. Para a avaliação da área necessária à instalação do aterro, determinou-se uma vida útil de 20 anos. Sendo assim, por meio do método geométrico, foi possível estimar a população do município de Abaetetuba de 2025 a 2044. Partindo dessa estimativa, constatou-se que, para atender à demanda populacional, será necessária uma área equivalente a 35 hectares. Os resultados apontaram que as áreas com maior nível de adequabilidade representam 1,46% (23,5 km²) do território, enquanto 35,68% (574,85 km²) são áreas que não podem receber aterro sanitário devido às limitações técnicas, ambientais e socioeconômicas. Identificaram-se 205 áreas de maior adequabilidade, no entanto, foram selecionadas apenas 15 áreas, todas com dimensões superiores a 35 hectares. Após a avaliação de cada área, as áreas 14 e 15 foram definidas como as mais adequadas para a instalação do aterro sanitário, atendendo a todos os critérios e ao pré-dimensionamento da área mínima necessária. Dessa forma, os resultados demonstraram que o uso de técnicas de geoprocessamento foi eficaz para a avaliação preliminar de áreas adequadas à instalação de aterro sanitário. Contudo, é essencial realizar visitas às áreas selecionadas, a fim de validar os dados coletados e verificar se as variáveis foram atendidas nas áreas identificadas como as mais adequadas.

Palavras-chave: Aterro Sanitário; Resíduos Sólidos; Sistema de Informação Geográfica; AHP; Lógica *Fuzzy*.

ABSTRACT

The continuous increase in solid waste generation in urban areas is an urgent concern, with serious implications for both the environment and public health. The proper alternative for disposing of urban solid waste is sanitary landfills; however, due to the intense urbanization process, the areas available for solid waste disposal have become increasingly limited. This study aims to evaluate suitable areas for the installation of a sanitary landfill in the municipality of Abaetetuba, Pará, using Geographic Information Systems and geoprocessing through a multi-criteria decision analysis. The methodology adopted in this study involves the definition of constraint factors, standardization of variables (Fuzzy logic), weighted comparison of factors through the AHP (Analytic Hierarchy Process) method, and the aggregation of factors and constraints. This method enabled the development of thematic maps for each criterion to facilitate the interpretation and comparison of the selected criteria. For evaluating the area needed for the landfill, a lifespan of 20 years was determined. Using the geometric method, it was possible to estimate Abaetetuba's population from 2025 to 2044. Based on this, it was found that an area equivalent to 35 hectares would be required to meet the population's demand. The results indicated that areas with the highest suitability represent 1.46% (23.5 km²) of the territory, while 35.68% (574.85 km²) are unsuitable for landfill installation due to technical, environmental, and socioeconomic limitations. A total of 205 areas with high suitability were identified, however, only 15 areas were selected, with dimensions greater than 35 hectares. After evaluating each area, areas 14 and 15 were defined as the most suitable for the installation of a sanitary landfill, meeting all criteria and the pre-determined minimum area requirement. Thus, the results demonstrated that geoprocessing techniques proved effective for the preliminary evaluation of suitable areas for landfill installation, but it is essential to conduct field visits to validate the collected data and verify which variables were met in the areas identified as the most suitable.

Keywords: Sanitary Landfill; Solid Waste; Geographic Information System; AHP; Fuzzy Logic.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 – Esquema de classificação dos RSU de acordo com a NBR 10.004/2004.	23
Figura 2 – Geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil nos anos de 2012 e 2022.....	24
Figura 3 – Disposição final dos RSU no Brasil para o ano de 2022.....	25
Figura 4 – Etapas do gerenciamento de RSU.....	28
Figura 5 – Exemplo de Lixão.....	31
Figura 6 – Exemplo de aterro controlado.....	31
Figura 7 – Exemplo de Aterro Sanitário.....	32
Figura 8 – Mapa de localização do município de Abaetetuba/PA.....	41
Figura 9 – Mapa da hidrografia (massa d’água e drenagem) do município de Abaetetuba/PA.	42
Figura 10 – Mapa pedológico do município de Abaetetuba/PA.....	43
Figura 11 – Mapa geológico do município de Abaetetuba/PA.....	44
Figura 12 – Mapa geomorfológico do município de Abaetetuba/PA.....	45
Figura 13 – Mapa da vegetação do município de Abaetetuba/PA.....	46
Figura 14 – Mapa do uso e cobertura da terra do município de Abaetetuba/PA.....	47
Figura 15 – Mapa de declividade do município de Abaetetuba/PA.....	48
Figura 16 – Fluxograma das etapas do trabalho.....	49
Figura 17 – Mapa de localização do aterro controlado de Abaetetuba.....	50
Figura 18 – Índice Randômico.....	66
Figura 19 – Mapa de adequabilidade para instalação de um aterro sanitário no município de Abaetetuba em função do critério distância de núcleos urbanos.....	71
Figura 20 – Mapa de adequabilidade para instalação de um aterro sanitário no município de Abaetetuba em função do critério distância de rodovias.....	73
Figura 21 – Mapa de adequabilidade para instalação de um aterro sanitário no município de Abaetetuba em função do critério distância de corpos hídricos.....	74
Figura 22 – Mapa de adequabilidade para instalação de um aterro sanitário no município de Abaetetuba em função do critério Declividade.....	75
Figura 23 – Mapa de adequabilidade para instalação de um aterro sanitário no município de Abaetetuba em função do critério uso e cobertura da terra.....	77
Figura 24 – Mapa de adequabilidade para instalação de um aterro sanitário no município de Abaetetuba em função do critério Pedologia.....	79

Figura 25 – Mapa de adequabilidade para instalação de um aterro sanitário no município de Abaetetuba em função do critério Geologia.	80
Figura 26 – Mapa do critério Unidades de Conservação (UC).	81
Figura 27 – Mapa de adequabilidade segundo a álgebra de mapas.	84
Figura 28 – Mapa final das áreas de maior adequabilidade pré-selecionadas.	86
Figura 29 – Mapa ampliado das áreas selecionadas de 35 a 184,2 hectares.	88
Figura 30 – Mapas das Áreas pré-selecionadas para receber a instalação do aterro (1, 2, 4, 4, 5 e 6).	90
Figura 31 – Mapas das Áreas pré-selecionadas para receber a instalação do aterro (7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13).	91
Figura 32 – Mapas das Áreas pré-selecionadas para receber a instalação do aterro (14 e 15).	92
Figura 33 – Área de maior adequabilidade com mais de 35 hectares.	95

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Geração de RSU para cada região brasileira.....	24
Tabela 2 – Índice de cobertura de coleta de RSU no Brasil e regiões (%) em 2022.	25
Tabela 3 – Disposição final de RSU no Brasil e regiões, por tipo de destinação.	26
Tabela 4 – Notas de adequabilidade em função da distância para o critério de distância de centro urbano.	55
Tabela 5 – Notas de adequabilidade em função da distância para o critério de distância de estradas.....	56
Tabela 6 – Notas de adequabilidade em função da distância para o critério de distância de corpos hídricos.	57
Tabela 7 – Notas de adequabilidade para o critério de distância de declividade.	58
Tabela 8 – Valor de adequabilidade para o critério uso e cobertura da terra.	61
Tabela 9 – Valor de adequabilidade para o critério pedologia.	62
Tabela 10 – Aptidão do critério Geologia.	63
Tabela 11 – Classes de adequabilidade para o critério Distância de Núcleos Urbanos.....	71
Tabela 12 – Classes de adequabilidade para o critério Distância de Núcleos.....	72
Tabela 13 – Classes de adequabilidade para o critério Distância dos corpos hídricos.....	74
Tabela 14 – Classes de adequabilidade para o critério Declividade.....	75
Tabela 15 – Classes de adequabilidade para o critério uso e cobertura da terra com suas respectivas.....	76
Tabela 16 – Classes de adequabilidade para o critério Pedologia.....	78
Tabela 17 – Classes de adequabilidade para o critério Geologia com suas respectivas quantidades.....	80
Tabela 18 – Pesos atribuído aos critérios.....	83
Tabela 19 – Classes de adequabilidade com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.....	85
Tabela 20 – Pesos atribuído aos critérios.....	89

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 – Legislações que abrangem aspectos de aterro sanitário.	27
Quadro 2 – Descrição dos dados utilizados para elaboração do estudo.	51
Quadro 3 – Critérios levantados na escolha de área para implantação de aterro sanitário.	52
Quadro 4 – Critérios ambientais, sociais e econômicos relacionados a aterro sanitário.	53
Quadro 5 – Notas dos critérios e descrição adotada pela lógica de <i>Fuzzy</i>	54
Quadro 6 – Caracterização do uso e cobertura da terra para Abaetetuba.....	59
Quadro 7 – Escala fundamental de Saaty para julgamentos comparativos.....	64
Quadro 8 – Matriz de comparação pareada dos critérios.	65
Quadro 9 – Referência de área mínima para implantação do aterro.....	69
Quadro 10 – Fatores para seleção de áreas para a instalação de aterros.	70
Quadro 11 – Matriz comparativa entre os critérios.	82
Quadro 12 – Estimativas populacionais.	93
Quadro 13 – Estimativa da geração de RSU para o município de Abaetetuba (2025 a 2044).	93
Quadro 14 – Enquadramento das áreas.	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
APA	Área de Proteção Ambiental
Art.	Artigo
AS	Aterro Sanitário
ASV	Autorização de Supressão de Vegetação
BDiA	Banco de Informações Ambientais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GRSU	Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos
ha.	Hectares
IC	Índice de Consistência
IR	Índice Randômico
kg	Quilogramas
km	Quilômetros
m	Metros
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadoras
PCA	Plano de Controle Ambiental
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RC	Razão de Consistência
RCA	Relatório de Controle Ambiental
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEMAS	Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade
SIG	Sistema de Informações Geográfica
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
SINISA	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
ton.	Toneladas
UC	Unidade de Conservação
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	OBJETIVOS.....	20
2.1	Objetivo geral	20
2.2	Objetivos específicos	20
3	REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1	Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).....	21
3.1.1	Conceito e classificação	21
3.1.2	Panorama da geração de resíduos sólidos no Brasil e no Pará	23
3.1.3	Legislação sobre RS	26
3.1.4	Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos	27
3.1.5	Disposição final dos RSU	30
3.2	Seleção de áreas para implantação de aterros sanitário (SIG).....	32
3.2.1	Lógica <i>Fuzzy</i>	33
3.2.2	Critérios para definição de áreas	34
3.2.3	Métodos de Apoio Multicritério à Decisão	36
3.2.4	Sistemas de Informação Geográficas - SIG.....	38
4	METODOLOGIA.....	41
4.1	Área de estudo	41
4.1.1	Hidrografia.....	41
4.1.2	Pedologia.....	42
4.1.3	Geologia.....	44
4.1.4	Geomorfologia.....	44
4.1.5	Vegetação.....	45
4.1.6	Uso e cobertura da terra	46
4.1.7	Declividade	47
4.1.8	Clima	48

4.2	Procedimentos metodológicos	49
4.2.1	Levantamento bibliográfico e de informações	49
4.2.2	Seleção e definição dos fatores de restrição	51
4.2.3	Padronização ou normatização de fatores.....	54
4.2.3.1	Distância de núcleos urbanos	55
4.2.3.2	Distância de rodovias	56
4.2.3.3	Distância dos corpos hídricos	56
4.2.3.4	Declividade	57
4.2.3.5	Uso e cobertura da terra.....	58
4.2.3.6	Pedologia.....	61
4.2.3.7	Geologia	62
4.2.3.8	Unidades de Conservação	63
4.2.4	Comparação ponderada dos fatores.....	63
4.2.5	Agregação dos fatores e restrição (Álgebra de mapas).....	66
4.2.6	Pré-Dimensionamento da área necessária a instalação do aterro sanitário.....	66
4.2.6.1	Projeção populacional	66
4.2.6.2	Massa dos RS e volume do aterro.....	68
4.2.6.3	Área necessária para a instalação do AS	69
4.2.7	Identificação das áreas prioritárias para a instalação de aterro sanitário	69
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
5.1	Seleção e definição dos fatores de restrição	70
5.2	Padronização com base nos fatores de restrição	70
5.2.1	Distância de núcleos urbanos	70
5.2.2	Distância de rodovias	72
5.2.3	Distância de corpos hídricos.....	73
5.2.4	Declividade	74
5.2.5	Uso e cobertura da terra	76

5.2.6	Pedologia.....	78
5.2.7	Geologia	79
5.2.8	Unidades de Conservação	81
5.3	Comparação ponderada dos fatores	82
5.4	Agregação dos fatores de restrição (Álgebra de mapas).....	83
5.5	Pré-dimensionamento da área necessária a instalação do aterro sanitário.....	92
5.6	Identificação das áreas prioritárias para a instalação de aterro sanitário	94
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
	REFERÊNCIAS	97

1 INTRODUÇÃO

A Constituição Federal do Brasil de 1988 (Brasil, 1988) reconheceu o saneamento básico como um direito assegurado a todos os brasileiros. A partir disso, os municípios passaram a ser detentores da titularidade dos serviços de saneamento no país. A Lei nº 11.445/2007 (Brasil, 2017) define saneamento básico como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais urbanas.

No Brasil, o manejo de resíduos sólidos, sendo um dos principais eixos do saneamento básico, não tem recebido gestão adequada por parte do governo (Monteiro, 2001).

O crescimento populacional, os avanços tecnológicos e as mudanças nos padrões de consumo têm refletido diretamente no aumento da geração de RSU. De acordo com o diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SINISA, 2022), em 2022, foram coletadas cerca de 76,1 milhões de toneladas de resíduos sólidos, das quais somente 61,1% foram dispostas de forma adequada em aterros sanitários, enquanto os 38,9% restantes foram lançados em ambientes inadequados. A região Norte apresentou o maior índice de lançamento irregular de RSU, com 63,4% dos resíduos coletados sendo descartados em lixões e aterros controlados (SINISA, 2022).

No Estado do Pará, a gestão de resíduos sólidos é precária. Segundo o SINISA (2022), dos 144 municípios do estado, somente 6 destinam seus resíduos sólidos a aterros sanitários.

Os aterros controlados e lixões são espaços inadequados para a disposição final de resíduos sólidos. Tais ambientes são desprovidos de planejamento e não atendem às normas técnicas existentes, resultando em poluição do solo, do ar e das águas superficiais e subterrâneas, além de propiciarem a proliferação de vetores de doenças, representando riscos à saúde pública.

A PNRS aponta o aterro sanitário como a alternativa ambientalmente adequada para a disposição de RSU (Brasil, 2010). A NBR 8419/1992 (ABNT, 1992) destaca que o aterro sanitário é um sistema adequado para a disposição de resíduos, pois utiliza técnicas para confinar os RSU na menor área possível e cobri-los sob uma camada de terra com uma manta protetora, garantindo a segurança ambiental e a saúde pública.

O aterro sanitário representa um sistema viável, pois conta com sistemas de revestimento e drenagem que garantem o isolamento dos RSU. Além disso, os aterros sanitários podem dispor de tecnologias, como as usinas de biogás, capazes de retirar as impurezas concentradas nos gases oriundos da decomposição anaeróbica da matéria orgânica dos RSU.

No entanto, a seleção de áreas ambientalmente adequadas para a implantação de aterros sanitários é uma tarefa multidisciplinar que deve considerar critérios técnicos, ambientais, legislativos e socioeconômicos, a fim de garantir o menor impacto possível ao meio ambiente e à sociedade. Purificação (2021) ressalta que é imprescindível a utilização de técnicas que considerem todos esses aspectos, cujo objetivo é proporcionar uma resposta qualiquantitativa real. Dentre as técnicas existentes, destacam-se a Avaliação de Impacto Ambiental (EIA), o Estudo de Viabilidade Econômica, os Estudos Hidrológicos e o uso de ferramentas de geoprocessamento.

À vista disso, o uso de ferramentas de geoprocessamento em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem se mostrado eficaz por apresentar um enorme potencial para esse tipo de análise (Lourenço *et al.*, 2015).

Nesse contexto, o município de Abaetetuba, no estado do Pará, carece de saneamento básico urbano e rural. Conforme o SINISA (2022), o lançamento de resíduos sólidos (RS) ocorre por meio de um aterro controlado existente no município, localizado na PA-151.

Diante disso, o presente trabalho objetivou avaliar áreas prioritárias para a instalação de um aterro sanitário no município de Abaetetuba, com a hipótese de que, dentro do limite municipal, há poucas áreas fisicamente adequadas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Identificar áreas prioritárias para a instalação de aterro sanitário no município de Abaetetuba/PA.

2.2 Objetivos específicos

- Estabelecer os critérios para identificação das áreas prioritárias para instalação de aterro;
- Construir mapas para facilitar a identificação de áreas de acordo com os critérios estabelecidos;
- Determinar a adequabilidade da área de estudo com vistas à instalação do aterro sanitário.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

3.1.1 Conceito e classificação

Embora o termo “Resíduo(s) Sólido(s) Urbano(s) (RSU)” seja usado sob diferentes contextos, utilizado como sinônimo de “lixos”, “detritos”, “restos”, “entulho” e “rejeitos”, para Rêgo, Barreto e Killinger (2002), o conceito de resíduos sólidos (RS) pode variar de indivíduo para indivíduo, de lugar para lugar e sofrer alterações ao longo do tempo. Nesse contexto, a literatura apresenta diversos conceitos para RSU.

Para Rodrigues (2015), RSU refere-se a todo material sem utilidade e que, geralmente, as pessoas desejam descartá-los para ser reaproveitado, reutilizado ou reintroduzido na cadeia natural do seu ciclo de vida, ou então, dispostos em aterros sanitários quando há a perda total do seu valor.

Monteiro (2001) define RS como todo material sólido ou semissólido que é descartado por seu gerador em recipientes destinados a esse fim, por ser considerado indesejado ou inútil.

A definição técnica de RSU é estabelecida pela NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004) e ampliada pela Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Brasil, 2010).

De acordo com NBR 10.004/2004, define-se RSU como:

“Resíduos nos estados sólidos e semissólidos que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de serviços de varrição ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004, p.1)”.

Conforme a Lei nº 12.305/2010, a definição de resíduos sólidos (RS) foi ampliada, incluindo os gases contidos em recipientes como resíduos. Em seu Art. 3º, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) define os resíduos sólidos como:

“Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (Brasil, 2010)”.

Os resíduos sólidos (RS) podem ser classificados de diversas formas. As mais comuns, de acordo com as legislações, referem-se à sua origem, natureza e aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente.

A NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos em duas categorias: quanto à sua origem e quanto ao risco potencial de contaminação do meio ambiente.

A Lei nº 12.305/2010, em seu Art. 13, classifica os resíduos da seguinte maneira (Brasil, 2010):

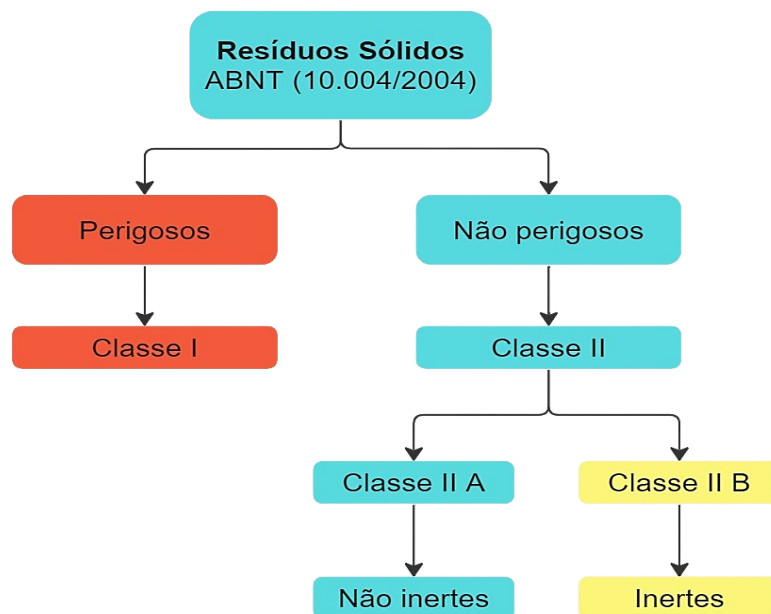
- a) Resíduos Sólidos domiciliares:** são resíduos resultante das atividades domésticas e do dia a dia das pessoas;
- b) Resíduos sólidos de limpeza urbana:** estes resíduos são gerados por meio da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) Resíduos sólidos urbanos:** são resíduos dos tipos domiciliares e de limpeza urbana;
- d) Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços:** são resíduos gerados em todos os estabelecimentos comerciais, exceto os resíduos de limpeza urbana, serviços de saneamento básico, serviço de saúde, de construções civis e de transportes;
- e) Resíduos sólidos dos serviços públicos de saneamento básico:** são resíduos gerados das atividades de saneamento básico, como tratamento de água e esgoto, com exceção dos resíduos sólidos urbanos;
- f) Resíduos sólidos industriais:** estes resíduos são gerados a partir dos processos produtivos e de instalações industriais;
- g) Resíduos sólidos de serviços de saúde:** são resíduos gerados por meio dos serviços de saúde, como clínicas e hospitais;
- h) Resíduos sólidos da construção civil:** os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) Resíduos sólidos agrossilvopastoris:** os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) Resíduos sólidos de serviços de transportes:** os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) Resíduos sólidos de mineração:** os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Ademais, a lei supracitada também classifica ainda os resíduos sólidos em (BRASIL, 2010):

- a) Resíduos perigosos:** são resíduos que em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com leis, regulamentos ou normas técnicas.
- b) Resíduos não perigosos:** são aqueles que não se enquadram nos resíduos sólidos perigosos.

Além disso, a NBR 10.004/2004 classifica os resíduos sólidos (RS) quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente (**Figura 1**).

Figura 1 – Esquema de classificação dos RSU de acordo com a NBR 10.004/2004.



Fonte: NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004).

Os resíduos perigosos de classe I representam riscos à saúde pública e ao meio ambiente devido à inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, exigindo tratamentos e disposições finais específicas. Já os resíduos não perigosos de classe II não se enquadram na classe I; no entanto, isso não significa que não apresentem riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

Os resíduos sólidos (RS) não perigosos de classe II são subdivididos em:

- **Classe II A – Não inertes:** compostos por materiais com características de biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água, que não se enquadram na classificação de resíduos inertes.
- **Classe II B – Inertes:** resíduos que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

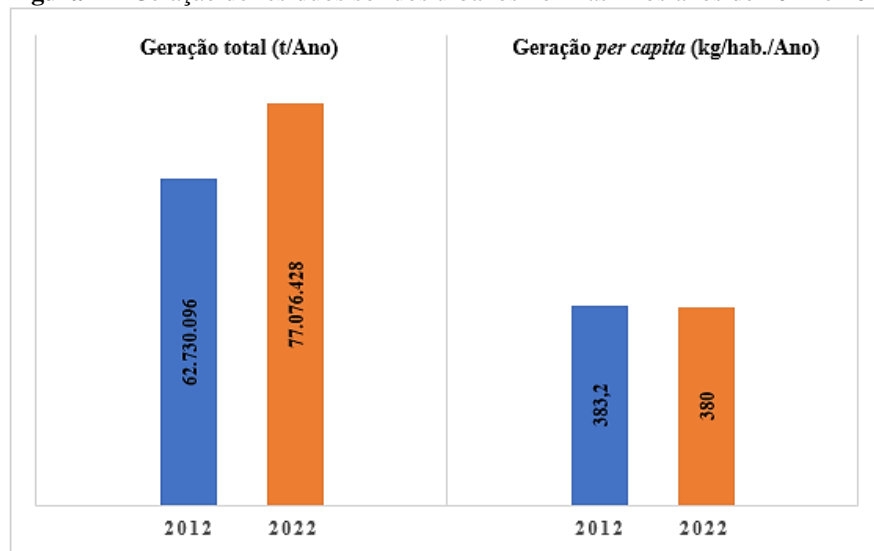
3.1.2 Panorama da geração de resíduos sólidos no Brasil e no Pará

O aumento na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil está diretamente ligado ao crescimento populacional e à urbanização. Das Graças Roth e Garcias (2008) e Silva, Barbieri e Monte-Mór (2012) apontam a urbanização e o consumo de produtos não duráveis e descartáveis como responsáveis pelo aumento do volume e das variedades de RSU.

O Panorama de Resíduos Sólidos da Associação Brasileira de Empresas de Limpezas Pública e de Resíduos Especiais (ABRELPE, 2022) indicou que, no ano de 2022, a geração de

RSU no Brasil foi de, aproximadamente, 77,1 milhões de toneladas por ano, com geração *per capita* equivalente a 381 kg/hab.ano⁻¹, expressando um aumento significativo comparado ao ano de 2012, no qual a geração de RSU foi de 62,7 milhões de t./ano e geração *per capita* de 383,2 kg/hab.ano⁻¹ (**Figura 2**).

Figura 2 – Geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil nos anos de 2012 e 2022.



Fonte: Adaptado da ABRELPE (2022).

No ano de 2012, a região Norte brasileira apresentou o menor índice na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), totalizando mais de 5,02 milhões de toneladas (**Tabela 1**). Já em 2022, todas as regiões do país apresentaram um aumento na geração de RSU. Contudo, na região Norte, o volume gerado aumentou para 6,17 milhões de toneladas, ficando atrás apenas da região Centro-Oeste, que registrou a menor geração de RSU para o referido ano.

Tabela 1 – Geração de RSU para cada região brasileira.

Regiões	2012	2022
	Geração (t/ano)	Geração (t/ano)
Norte	5.020.210	6.173.684
Nordeste	18.866.485	20.200.385
Centro-oeste	5.860.075	6.127.414
Sudeste	35.848.475	40.641.166
Sul	7.790.925	8.668.857

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2022).

No cenário nacional, em 2022, registrou-se um total de 71,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) coletadas, resultando em uma cobertura de coleta de 93%. A comparação entre a quantidade gerada e coletada de RSU mostra que, em média, 5,5 milhões

de toneladas de resíduos sólidos gerados em todo o país não foram coletados e, provavelmente, esses resíduos tiveram uma destinação final inadequada (ABRELPE, 2022).

Parte significativa da população das regiões Norte e Nordeste está sem acesso aos serviços de manejo de RSU, colocando essas regiões abaixo da média nacional no que tange à coleta de RSU (**Tabela 2**).

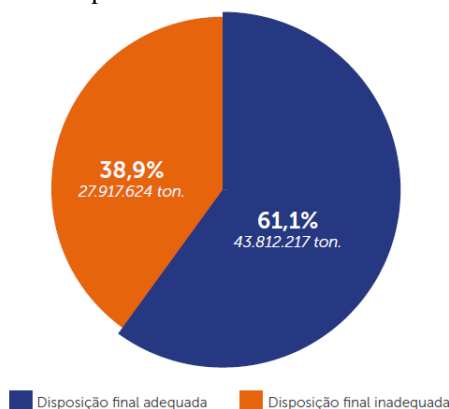
Tabela 2 – Índice de cobertura de coleta de RSU no Brasil e regiões (%) em 2022.

Brasil e Regiões	Índice (%)
Brasil	93,0
Norte	82,8
Nordeste	82,70
Centro-oeste	94,5
Sudeste	98,60
Sul	97,00

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2022).

Outrossim, segundo dados da ABRELPE (2022), 61,1% dos RSU coletados em todo o Brasil foram encaminhados para aterros sanitários, sendo ambientes destinados ao tratamento adequado (Jucá, 2003). Em contrapartida, 38,9% dos RSU coletados foram destinados a áreas ambientalmente inadequadas, incluindo lixões e aterros controlados, o que representa mais de 27,9 milhões de toneladas por ano. Na **Figura 3**, é possível identificar a relação entre a disposição final adequada e inadequada do RSU no Brasil.

Figura 3 – Disposição final dos RSU no Brasil para o ano de 2022.



*Projeções corrigidas com base no Censo 2022.

Fonte: ABRELPE (2022).

No Brasil, há diversos aterros sanitários, com destaque para as regiões Sul e Sudeste do país. Por outro lado, as demais regiões ainda apresentam baixo número desse tipo de sistema (**Tabela 3**). A região Norte dispõe de apenas 36,6% dos RSU em ambientes adequados. Isso se deve ao fato de ser um sistema com elevados custos operacionais, atrelado à falta de políticas públicas estaduais e municipais, de forma a assegurar as exigências previstas em leis e normas técnicas (Jucá, 2003; Ibiapina; Oliveira; Leocádio, 2021).

Tabela 3 – Disposição final de RSU no Brasil e regiões, por tipo de destinação.

Regiões	Disposição adequada		Disposição inadequada	
	t/ano	%	t/ano	%
Norte	1.695.017	36,6%	2.939.546	63,4%
Nordeste	5.844.347	37,3%	9.822.541	62,7%
Centro-oeste	2.453.280	43,6%	3.175.017	56,4%
Sudeste	27.916.327	74,3%	9.636.432	25,7%
Sul	5.903.246	71,6%	2.344.432	28,4%
Brasil	43.812.624	61,1%	27.917.624	38,9%

Fonte: ABRELPE (2022).

A nível estadual, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), o estado do Pará gera aproximadamente 1.543.223,7 t/ano de RSU. Do total gerado, apenas 26.360 t/ano são dispostas em aterros sanitários, enquanto 1.368.367,4 t/ano acabam em lixões e aterros controlados. Isso indica que a maior parte dos resíduos gerados não está passando por processos de tratamento adequados, o que pode ser um desafio significativo para a gestão de resíduos no estado (SINIR, 2019).

De acordo com Maiello, Britto e Valle (2018), as prefeituras municipais são responsáveis pelas atividades de manejo de RSU e limpeza urbana, segundo legislações vigentes, mas isso varia em qualidade e cobertura. Portanto, em algumas áreas urbanas, a coleta se mostra eficaz, em contrapartida, nas áreas rurais e comunidades de baixa renda, a coleta é ineficiente.

3.1.3 Legislação sobre RS

Avaliar áreas prioritárias para a disposição final ambientalmente adequada de RS constitui um processo criterioso e é respaldado por um conjunto específico de leis, resoluções

e normas técnicas. O propósito central desse embasamento legal é assegurar que a avaliação da área seja conduzida de maneira responsável e sustentável.

Sendo assim, serão apresentadas no **Quadro 1** as leis e normativas envolvendo aterros sanitários.

Quadro 1 – Legislações que abrangem aspectos de aterro sanitário.

Âmbito	Legislações e Normas	Ano	Descrição
Nacional	9.605	1998	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.
	9.985	2000	Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC)
	12.305	2010	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.
	12.651	2012	Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa
	NBR 10.157	1987	Aterros de resíduos perigosos - critérios para projeto, construção e operação
	NBR 8419	1992	Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos
	NBR 13.896	1997	Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação
	CONAMA n° 01	1986	Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental
	CONAMA n° 308	2002	Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.
Estadual	5.887	1995	Dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente e dá outras providências.
Municipal	482	2016	Institui o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, implanta a Política Municipal de Resíduos Sólidos, ambos do Município de Abaetetuba, e dá outras providências.

Elaboração: Autor (2024).

3.1.4 Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos

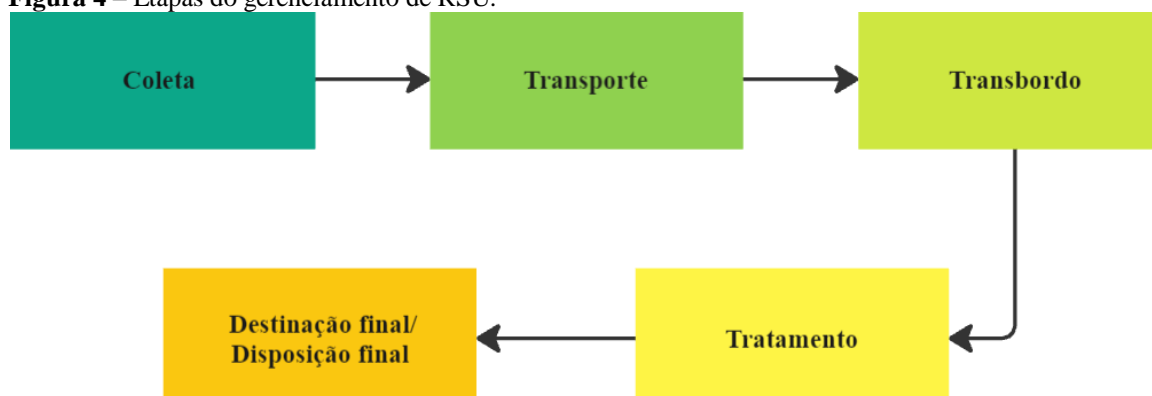
O Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU) envolve um conjunto de ações exercidas nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com o plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma

desta Lei (Brasil, 2010) (Figura 4). Dessa forma, o GRSU propicia a melhoria ou a manutenção da saúde, ou seja, o bem-estar físico, social e mental da comunidade (Zanta; Ferreira, 2003).

Mersoni e Reichert (2017), apud Lima (2000), disserta que:

“O gerenciamento de resíduos sólidos é pautado nos aspectos tecnológicos e operacionais, envolvendo fatores administrativos, gerenciais, econômicos, ambientais, de desempenho (produtividade e qualidade), incluindo prevenção, redução, segregação, reutilização, acondicionamento, coleta, transporte, tratamento, recuperação de energia e destinação final”.

Figura 4 – Etapas do gerenciamento de RSU.



Fonte: Brasil (2010).

A primeira etapa do processo de gerenciamento dos RSU refere-se à coleta e transporte. A NBR 12.980/93, que se refere à coleta, varrição e acondicionamento de resíduos, afirma que a coleta de RS é o ato de recolhê-los e transportá-los, utilizando veículos e equipamentos apropriados para tal fim (ANBT, 1993). Baseado nisso, Zanta e Ferreira (2003) afirmam que a coleta e transporte consistem nas operações de remoção e transferência dos RSU para um local de armazenamento, processamento ou destinação final. Essa atividade pode ser realizada de forma seletiva ou por coleta dos resíduos misturados.

No que se refere ao transbordo, Stangler (2012) aponta que, nesta etapa, os RSU são encaminhados para áreas de transferências, armazenados e, em seguida, transportados em caminhões com maior capacidade para o aterro sanitário. O objetivo é tornar o transporte dos RSU mais prático e eficiente. Com efeito, há uma diminuição no consumo de combustíveis, minimizando a liberação dos gases poluentes e reduzindo os gastos com transportes.

Na etapa do tratamento, Mello (2008) afirma que o tratamento de RSU tem por objetivo reduzir seu potencial poluidor. Berticelli, Pandolfo e Korf (2016) complementam que o tratamento está ligado a uma série de processos físicos, químicos e biológicos, com o intuito de diminuir a carga poluidora no meio ambiente, reduzir os impactos oriundos de lançamentos de efluentes e favorecer o beneficiamento econômico do RSU.

Mannarino, Ferreira e Gandolla (2016) apontam que:

“As diferentes formas de valorização e tratamento de resíduos conseguem reduzir a quantidade a ser encaminhada para um destino final, mas não são capazes de eliminar a necessidade deste. É importante, então, planejar todo o sistema de gestão de resíduos de forma que o local de destino final gera menos impactos ao ambiente, natural e urbano, onde ele está inserido (p.382)”.

Para isso, dependendo do tipo de resíduo sólido urbano, existem diversas maneiras de tratamento, as quais podem ocorrer por meio da reciclagem, incineração, compostagem, entre outros (Mello, 2008).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente – MMA (2017), a reciclagem consiste em técnicas que permitem reutilizar materiais descartados, reintegrando-os ao ciclo produtivo. É uma das opções mais vantajosas para o tratamento de resíduos sólidos, proporcionando vantagens ambientais e sociais significativas: reduz o consumo de recursos naturais, economiza energia e água, diminui o volume de resíduos e gera investimentos.

Para Quintal (2011) e Aquino (2020), a eficácia da reciclagem depende do tipo de material envolvido, pois, muitas vezes, a reciclagem não pode ser realizada de forma ilimitada. Por exemplo, o papel perde qualidade a cada ciclo de reciclagem devido ao encurtamento das fibras de celulose. No entanto, o vidro pode ser reciclado indefinidamente sem perder suas propriedades físicas no processo. Assim, a capacidade de reciclagem de um material está diretamente relacionada às suas características específicas.

Russo (2003) lista uma série de vantagens decorrentes do tratamento por meio da reciclagem:

“Minimização de resíduos para deposição final; Aumento da flexibilidade dos aterros sanitários; Melhoramento das condições de saúde; Redução dos impactos ambientais; Economia de energia e de recursos naturais” (Russo, 2003)”.

A incineração, segundo Dos Santos (2011), consiste em um método de tratamento de resíduos no qual ocorre a queima das substâncias orgânicas presentes na matéria que compõe os resíduos sólidos. Esse tipo de processo tem por objetivo a redução do volume, peso e das características perigosas presentes nos resíduos sólidos, por meio de uma combustão controlada.

Hirano e Silva (2012) reiteram que a incineração é considerada uma forma de reciclagem energética, pois a energia liberada durante a queima de resíduos é reaproveitada em outros processos, tornando-se um recurso reciclado.

Por sua vez, Reno (2006) afirma que a incineração reduz o volume dos resíduos em uma faixa de 95 a 98% em relação ao volume original. Isso depende da composição e do grau de recuperação dos materiais, como os metais.

Na mesma linha, o autor ratifica que a incineração de resíduos não substitui completamente a necessidade de aterros, mas sim reduz de forma significativa o volume que precisa ser depositado neles, prolongando consideravelmente a vida útil dos aterros sanitários.

A compostagem, por sua vez, é um processo que segue a ordem de prioridade da PNRS, evitando a disposição final de resíduos com a possibilidade de serem tratados (Brasil, 2010).

Massukado (2004) conclui que a compostagem é um dos métodos de tratamento de resíduos sólidos orgânicos que envolve a restrição controlada de matéria orgânica na presença de oxigênio. Este tipo de tratamento resulta na formação de um composto orgânico que contém uma variedade de macronutrientes e micronutrientes capazes de melhorar a fertilidade do solo.

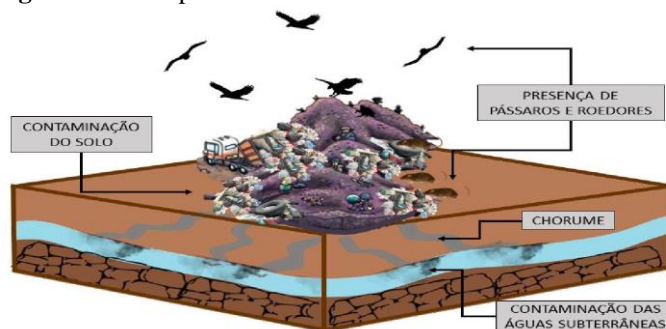
Vespa (2005) afirma que a compostagem é um método de reciclagem da matéria orgânica encontrada em resíduos sólidos urbanos. Costa (2016) reitera que a compostagem pode ser empregada tanto como componente de um sistema integrado de reciclagem e gestão de materiais, como também como um sistema independente para o tratamento específico de resíduos orgânicos.

3.1.5 Disposição final dos RSU

A destinação final dos RSU consiste na etapa final do gerenciamento e é um componente fundamental para a proteção do meio ambiente, da saúde pública e para a promoção da sustentabilidade. Existem três formas de destinação final de resíduos sólidos: aterros sanitários, aterros controlados e lixões, sendo as duas últimas formas consideradas ambientalmente inadequadas. Para Spinola, De Andrade e Nascimento (2017), apenas uma pequena parcela dos RSU gerados é destinada para aterros sanitários.

Os lixões são locais onde os RSU e demais detritos são lançados de forma inadequada e sem tratamento (**Figura 5**). Neste tipo de sistema, os resíduos são lançados diretamente no solo, sem nenhuma técnica de engenharia ou medida de proteção ambiental, degradando as águas superficiais e subterrâneas, o solo e o ar, além de provocar danos à saúde humana (Purificação, 2021).

Figura 5 – Exemplo de Lixão.



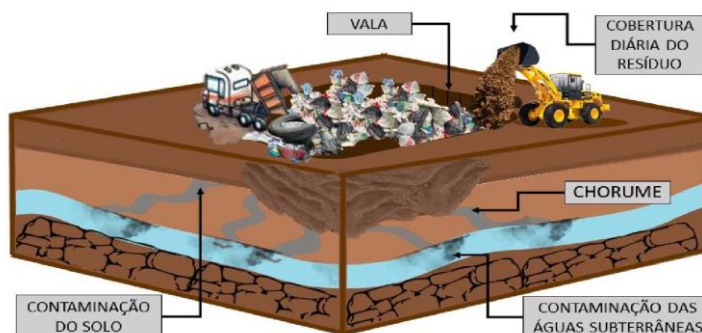
Fonte: Purificação (2021).

Aterro controlado (**Figura 6**) de resíduos sólidos consiste em uma área de disposição de RSU, coberta com uma camada de material inerte ao final de cada jornada de trabalho (NBR/ABNT 8.849, 1985).

Para Nascimento (2001), os aterros controlados nada mais são do que um lixão “maquiado”, pois apresentam os mesmos problemas do lixão, porém com camadas de solo para confinar os resíduos sólidos. Além disso, esse tipo de sistema não conta com barreiras naturais ou artificiais cujo objetivo é impedir a percolação de chorume produzido pelos resíduos sólidos no solo e nos corpos hídricos.

Para Massukado (2004), os aterros controlados apenas minimizam a questão dos catadores e da proliferação de vetores em seu entorno, mas não resolvem a questão dos líquidos percolados e dos gases provenientes da decomposição dos resíduos sólidos. Isso porque os resíduos são apenas cobertos por uma camada de solo ao final de cada jornada de trabalho.

Figura 6 – Exemplo de aterro controlado.

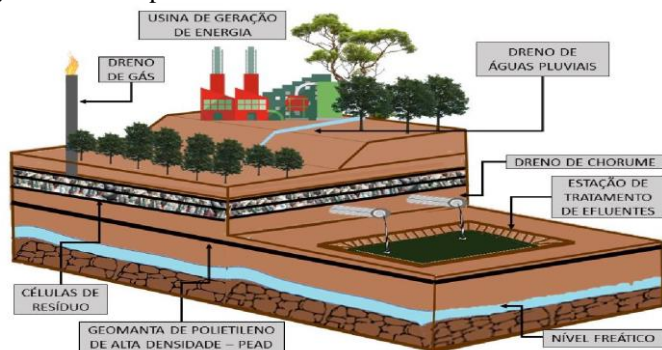


Fonte: Purificação (2021).

Já os aterros sanitários (**Figura 7**) são sistemas projetados com técnicas de engenharia para a disposição final mais segura dos RSU. São construídos com revestimentos de fundo impermeabilizantes e sistemas de coleta de gases, chorume e águas pluviais, evitando a contaminação do solo, da água subterrânea e superficial. Os RSU destinados a esse tipo de

sistema são compactados e regularmente cobertos com camadas de solo e manta protetora para reduzir o odor e o risco de violação das normas (Purificação, 2021).

Figura 7 – Exemplo de Aterro Sanitário.



Fonte: Purificação (2021).

A Norma Técnica Brasileira (NBR 8.419/92) da ABNT (1992) define aterro sanitário como:

Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos, consiste na Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário. (ABNT/NBR 8419, 1992, p1).

Na visão de Monteiro (2001), o aterro sanitário é:

Um método para disposição final dos resíduos sólidos urbanos, sobre terreno natural, através do seu confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ao meio ambiente, em particular à saúde e à segurança pública (p150).

Logo, observa-se que os aterros sanitários são menos danosos ao meio ambiente e às comunidades, desde que seu projeto técnico esteja dentro dos padrões estabelecidos pelas leis.

3.2 Seleção de áreas para implantação de aterros sanitário (SIG)

A seleção de áreas para implantação de aterros sanitários é uma das principais dificuldades enfrentadas pelos municípios. Para uma área ser considerada adequada, ela deve reunir um grande conjunto de condições técnicas, econômicas e ambientais, que demandam o conhecimento de um grande volume de dados e informações, normalmente indisponíveis para as administrações municipais (SNSA, 2008).

Outrossim, Lourenço (2015) ratifica a importância de serem observados os aspectos socioeconômicos e pontuais, haja vista que têm o potencial de gerar entraves políticos, que, por vezes, podem ser decisivos na seleção de áreas.

Lourenço *et al.* (2007 *apud* Calvo *et al.*, 2015, p. 122) dizem que:

“A seleção de áreas e as obras de aterro sanitário, devido aos seus impactos negativos, encontra uma série de entraves para sua implantação, desde aspectos sociais, bem como de aspectos legais e ambientais, podendo ser inviabilizado ou eternamente postergado”.

A NBR 13.896 (ABNT, 1997) considera que, para um local ser utilizado para a instalação de aterros de resíduos não perigosos, deve-se considerar que:

“a) o impacto ambiental a ser causado pela instalação do aterro seja minimizado;
b) a aceitação da instalação pela população seja maximizada;
c) esteja de acordo com o zoneamento da região;
d) possa ser utilizado por um longo espaço de tempo, necessitando apenas de um mínimo de obras para início da operação (ABNT, 1997, p2)”.

Nesse sentido, a alocação desse tipo de infraestrutura demanda uma abordagem abrangente e equilibrada para garantir um projeto que minimize os impactos negativos, sendo possível destacar três ferramentas que podem auxiliar na definição de áreas para implantação de aterros sanitários: a Lógica *Fuzzy*, os métodos de apoio multicritério e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

3.2.1 Lógica *Fuzzy*

O uso da lógica *Fuzzy* começa com a definição das variáveis de entrada, que podem ser do tipo qualitativa e/ou quantitativa. As variáveis qualitativas representam valores obtidos com base no conhecimento de especialistas, enquanto as variáveis quantitativas são baseadas em dados obtidos a partir de leis vigentes, normas ou manuais técnicos (Mello, 2008). Marro *et al.* (2010), complementa que a lógica *Fuzzy* é uma abordagem que lida com a incerteza e a imprecisão, possibilitando que variáveis qualitativas e quantitativas sejam tratadas de forma conjunta para tomada de decisões ou modelagem em situações complexas.

Para Calijuri, Melo e Lorentz (2002), a lógica *Fuzzy* é um conjunto de valores originalmente expressos em uma determinada escala e convertido para uma escala normalizada. Essa transformação objetiva torná-los comparáveis de maneira mais objetiva. Isso auxilia na redução da subjetividade na escolha, promovendo um julgamento mais fundamentado no processo de tomada de decisão.

Tal método pode reduzir a complexidade de um projeto a um ponto em que problemas anteriormente intratáveis, devido às suas complexidades, passam a ser resolvidos. Isso se deve à capacidade da lógica *fuzzy* em lidar com a imprecisão e a incerteza de forma eficiente, tornando-a uma ferramenta útil em uma ampla gama de aplicações nas mais diversas áreas do conhecimento (Gomide, Gudwin e Tanscheit, 1995).

De Oliveira *et al.* (2014) aplicaram técnicas de geoprocessamento e lógica *fuzzy* para criação de zoneamento no parque estadual da cachoeira da Fumaça.

O estudo de Melo (2001) compreende uma proposta metodológica de avaliação e seleção de áreas para implantação de aterros sanitários utilizando lógica *fuzzy* e análise multicritério, que aumentam consideravelmente o potencial analítico do SIG.

Outro exemplo dessa aplicação, dessa vez realizado no estado do Pará, menciona-se o trabalho de Dourado, De Andrade e Carneiro (2017), que fez uma abordagem baseada na lógica *fuzzy* para a geração de mapas de riscos naturais em Santarém.

3.2.2 Critérios para definição de áreas

Para a escolha da melhor área a instalação de aterro sanitário, é essencial atender a diversos critérios que garantam um equilíbrio justo entre fatores econômicos, sociais e ambientais. Esta etapa é fundamental para assegurar a eficiência, segurança e sustentabilidade do gerenciamento de resíduos sólidos (De Saboia, 2023).

- ***Distância de núcleos urbanos***

A proximidade de núcleos urbanos a aterros sanitários deve ser cuidadosamente avaliada, pois o crescimento urbano desordenado pode rapidamente aproximar essas áreas das instalações de aterro, exacerbando os impactos ambientais e de saúde (Samizava *et al.*, 2008).

Embora a instalação de aterros sanitários distantes de núcleos urbanos seja preferível por diversos motivos, existem limitações práticas e de custos associados ao transporte que podem limitar essas distâncias. Em seu estudo, Schmidt (2017) Moreita, Barberi e De Oliveira (2018) ratificam que a implantação de um aterro sanitário não deve ser muito distante dos núcleos urbanos, devido ao sistema logístico de transporte.

No dizer de Neto e Areia (2013), áreas entre 2.000 a 5.000 metros são considerados adequadas para a implantação do empreendimento e, conseqüentemente, áreas superiores a 20.000 metros têm se mostrado inviáveis.

- ***Distância de rodovias***

As estradas, por sua vez, desempenham um papel fundamental no que tange o processo de instalação e operação do aterro sanitário. A importância reside na facilitação de transporte dos resíduos sólidos urbanos até o local para a disposição final, contribuindo com a redução dos custos operacionais.

Nas *et. al* (2010) atribuem a relevância de ser priorizado o uso de estradas existentes, cujo objetivo é evitar custos com construções de novas estradas de conexão. Weber e Hasenack (2000) ratificam que deve ser estabelecida uma distância das rodovias, objetivando a preservar as áreas de circulação do impacto visual do aterro. Os autores concluem que áreas com distâncias superiores a 200 metros, são consideradas adequadas, enquanto, áreas inferiores a 200 metros devem ser excluídas da análise por se mostrarem sem nenhuma adequabilidade.

- ***Distância dos corpos hídricos***

Os corpos hídricos têm um papel vital na avaliação de áreas para a implantação de aterros sanitários. Um dos objetivos ao avaliar áreas para a instalação de aterro sanitário é evitar a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, e isso só é possível avaliando áreas distantes dos corpos hídricos (Farias; Galvão; Santos, 2019).

Sabe-se que os corpos hídricos se estendem por todo o limite territorial do município de Abaetetuba, e que diversas comunidades fazem o uso desse recurso para diversas atividades, como no consumo de água, no extrativismo e na agricultura (Santos; Coelho, 2012). Com isso, é importante atentar-se que a disposição inadequada de resíduos sólidos próximos aos corpos hídricos pode afetar diretamente a saúde dessas comunidades locais, além de comprometer o acesso à água potável.

- ***Declividade***

A declividade do terreno é um fator importante a ser considerado na avaliação de áreas a implantação de aterro sanitário, pois essa característica tem implicações significativa relacionada aos diversos aspectos fundamentais, como na eficiência da escolha do método construtivo, na segurança operacional, no impacto ambiental e nas medidas econômicas do projeto do aterro sanitário.

Mediante a isso, a NBR nº 13.896/97 recomenda que sejam selecionados locais cuja declividade do terreno seja superior a 1% e inferior a 30%.

- ***Pedologia***

O mapeamento pedológico fornece informações detalhadas sobre as características físicas, químicas e biológicas do solo (Demattê, 2017). Portanto, essas características têm impactos diretos na capacidade de garantir a estrutura de um aterro sanitário, abrangendo aspectos como a estabilidade, permeabilidade e capacidade de suporte de carga.

A NBR 13.896/1997, recomenda que para amenizar a infiltração do chorume proveniente dos resíduos no solo, é desejável que seja utilizado solo pouco permeável, como é o caso dos solos argilosos, argila-arenoso ou argila siltoso. Nessa mesma perspectiva, Born (2014) em seu estudo sustenta a ideia de que solos com menor grau de permeabilidade é o mais viável para a instalação de aterro sanitário, no qual o teor de argila é o fator principal nesta avaliação.

3.2.3 Métodos de Apoio Multicritério à Decisão

Os Métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) têm sido amplamente utilizados em diversas áreas do conhecimento para lidar com situações complexas, nas quais é necessário considerar múltiplos critérios e alternativas (Rodriguez, Costa e Carmo, 2013).

Caiado *et al.* (2016) afirma que na literatura há uma vasta gama de métodos que auxiliam no Apoio Multicritério à Decisão, tais como o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), *Analytic Network Process* (ANS), *Case-Based Reasoning* (DEA) e *simple multi-attribute rating technique* (SMART). O autor ratifica que a escolha do método AMD dependerá de vários fatores, incluindo a natureza do problema, conforme preferências dos decisores e a disponibilidade de dados.

Ribeiro e Alves (2016) reiteram que tais métodos ajudam na tomada de decisão, considerando avaliação de alternativas em múltiplas dimensões com base nas preferências emitidas pelos agentes de tomada de decisão.

O método de análise multicritério mais utilizado globalmente é o Processo Analítico Hierárquico (em inglês: *Analytic Hierarchy Process* (AHP)), que consiste em uma tomada de decisão multicritério desenvolvida pelo matemático Thomas L. Saaty na década de 1980, nos

Estados Unidos. O método AHP proporciona a solução de problemas de escolha, amplamente utilizado em situações em que é necessário avaliar e comparar alternativas com base em múltiplos critérios (Rediske; Storch; Nara; 2015).

No dizer de Costa *et al.* (2007), o método AHP se apoia nas seguintes estruturas e princípios do processo analítico:

- (i) Construção de hierarquias: No AHP o problema é estruturado em níveis hierárquicos, como forma de buscar uma melhor compreensão e avaliação do mesmo. A construção de hierarquias é uma etapa fundamental do processo de raciocínio humano;
- (ii) Definição de prioridades: O ajuste das prioridades no AHP fundamenta-se na habilidade do ser humano de perceber o relacionamento entre objetos e situações observadas, comparando pares à luz de um determinado foco ou critério (julgamentos paritários);
- (iii) Consistência lógica: No AHP, é possível avaliar o modelo de priorização construído quanto a sua consistência. (Costa *et al.*, 2007, p.16).

Souza *et al.* (2017), ressalta que apesar de ser uma estrutura considerada normativa, ainda carrega um nível de subjetividade.

Saaty (2008) argumenta que, mesmo quando uma escala de preferência é objetivamente considerada, os julgamentos e as escolhas de um decisor sempre terão um caráter subjetivo. Isso ocorre porque os pesos atribuídos aos critérios e alternativas refletem as opiniões, valores e julgamentos individuais.

Esses pesos são proporcionais ao grau de importância dado pelo tomador de decisão, tornando-os significativamente subjetivos. A subjetividade é uma parte natural do processo de tomada de decisão, e métodos como o AHP ajudam a estruturar e formalizar essa subjetividade, tornando as preferências explícitas e permitindo a escolha da melhor alternativa com base nos valores e objetivos do decisor (Saaty, 2008).

Spigolon *et al.* (2015) afirma que o AHP é um método de análise multicritério que se baseia na desagregação e síntese das relações entre variáveis e grupos de critérios. Isso leva à priorização de seus indicadores, aproximando-se de uma resposta de medição única de desempenho mais precisa. A AHP utiliza uma escala de julgamento definida por Saaty, em 1977, para realizar essas comparações e determinar os pesos relativos aos critérios.

Ainda de acordo com Spigolon *et al.* (2015), a escala fundamental proposta por Saaty é um conjunto de classificações usadas para ponderar variáveis em comparação, par a par. Nessa escala, o valor (1) indica indiferença de importância entre as variáveis, enquanto o valor (9) denota extrema importância de uma variável sobre a outra. Existem intermediários de importância entre 1 e 9. Essas classificações são usadas para criar uma matriz de comparação que avalia cada grupo de critérios em relação a outros, sendo parte fundamental do processo do

Analytic Hierarchy Process (AHP). Esse método ajuda na priorização e ponderação dos critérios, tornando uma tomada de decisão mais objetiva e estruturada.

Samizava *et al.* (2008) explica que o grau de inconsistência calculado em uma matriz na análise hierárquica indica a consistência da relação entre variáveis, mas não necessariamente sua aderência à realidade. Destaca-se que a atribuição de valores de importância relativa entre as variáveis deve ser orientada pelo conhecimento empírico do utilizador, o que, por sua vez, determina a adequação do modelo à realidade. Outrossim, a realização de trabalhos em campo, aliada ao conhecimento empírico, ajuda a reduzir a subjetividade inerente ao processo de análise hierárquica, resultando em informações mais coerentes e aplicáveis.

3.2.4 Sistemas de Informação Geográficas - SIG

O termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos, armazenando a geometria e os atributos destes que devem estar representados em uma projeção cartográfica, tendo como premissa a sobreposição dessas informações (Fitz, 2018).

O SIG é a ferramenta de maior destaque dentro do geoprocessamento, sendo essencial para a caracterização e análise de fenômenos que ocorrem no espaço geográfico, e tem a capacidade de armazenar e processar dados de diferentes fontes e combiná-los para gerar informações relevantes (Nascimento, 2012).

Piroli (2010) reforça que:

Os SIG são sistemas de informações destinados a trabalhar com dados referenciados a coordenadas espaciais. São normalmente constituídos por programas e processos de análise, que tem como característica principal relacionar uma informação de interesse com sua localização espacial. Estes aplicativos permitem a manipulação de dados geograficamente referenciados e seus respectivos atributos e a integração desses dados em diversas operações de análise geográfica (Piroli, 2010, p. 5).

Cardozo (2018) ressalta que os SIG são ferramentas imprescindíveis para subsidiar a tomada de decisão, pois são capazes de organizar, processar e integrar dados geográficos de diferentes temas e origens, por meio da ampla capacidade desse tipo de sistema agregar à análise espacial e a modelagem, aliada as suas ferramentas estáticas, de classificação e agrupamento.

Carrilho, Candido e Souza (2018) defendem a utilização de (SIG), por entenderem que este tipo de ferramenta consegue delimitar áreas tecnicamente impróprias para Aterro Sanitário, reduzindo em mais de 95 % a área do território a ser estudada com mais profundidade. Isso ocorre devido a sua capacidade de concentrar em um mesmo projeto informações oriundas de

diversos focos de análise, como malha viária, geologia, áreas protegidas e reservas indígenas, entre outras possibilidades (Cardoso; Blanco; Friaes, 2022).

Neste contexto, a seleção de áreas para a implantação de Aterro Sanitário tem sido objeto de diversos estudos ao longo dos anos. Lupatini (2002) explica a possibilidade de aplicação de diversas disciplinas ao tema, confere a este um caráter multidisciplinar, resultando em diferentes abordagens e metodologias propostas.

Para Samizava *et al.* (2008), com o auxílio de técnicas do geoprocessamento a complexidade inerente a seleção de áreas aptas para a implantação de AS vem sendo diminuída. Para tanto, ferramentas computacionais, como *softwares* SIG, fornecem suporte para discriminar áreas potenciais de maneira mais rápida e eficiente.

Lupatili (2002) desenvolveu um sistema de apoio à decisão na escolha de áreas para AS. O desenvolvimento foi dividido certos atores e etapas, Entre os atores destacam-se os especialistas, o agente cognitivo e o técnico em informática, entre as etapas metodológicas destacam-se: aquisição de conhecimentos, estruturação dos conhecimentos, codificação e avaliação. O desenvolvimento do sistema permitiu além da aquisição de conhecimentos, a criação de novos conhecimentos referentes à estruturação multicritério para o processo de escolha de áreas para AS.

Samizava *et al.* (2008) por meio da aplicação de SIG, escolheu áreas potenciais para instalação de aterro sanitário no município de Presidente Prudente/SP. Sua escolha deu-se através da avaliação multicritério, combinada com operações da lógica booleana, para a exclusão de regiões absolutamente inadequadas e da lógica *fuzzy*, para avaliação de graus contínuos de aptidão.

Nascimento (2012) propôs indicar áreas para a implantação de AS no município de Bauru/SP, por meio da análise multicritério de decisão e técnica de geoprocessamento. Para tanto, sua pesquisa foi feita por meio técnicas de geoprocessamento e SIG utilizando Análise Multicritério de Decisão para as visões Ambientais, Econômicas e Sociais, sendo estes ponderados de diferentes modos e utilizando a AHP. Contudo, o autor concluiu que não há áreas aptas para a implantação de um AS, haja vista que houve a necessidade de respeitar a faixa de segurança dos aeroportos presente no município, mas ratifica a possibilidade de um AS consorciado com municípios vizinhos.

Silva (2019) identificou áreas potenciais para a implantação de AS no município de Castanhal/PA, através do uso de SIG. O autor utilizou o método de análise multicritério, tal método permitiu criar mapas com dados vetoriais, tabulados e matriciais que permitiram ilustrar, manipular e analisar os critérios necessários. Em seguida, os critérios foram

classificados em Escalonados ou Restritivos, no qual os critérios escalonados consistiram na ponderação do grau de importância de cada variável, através da atribuição de notas e pesos.

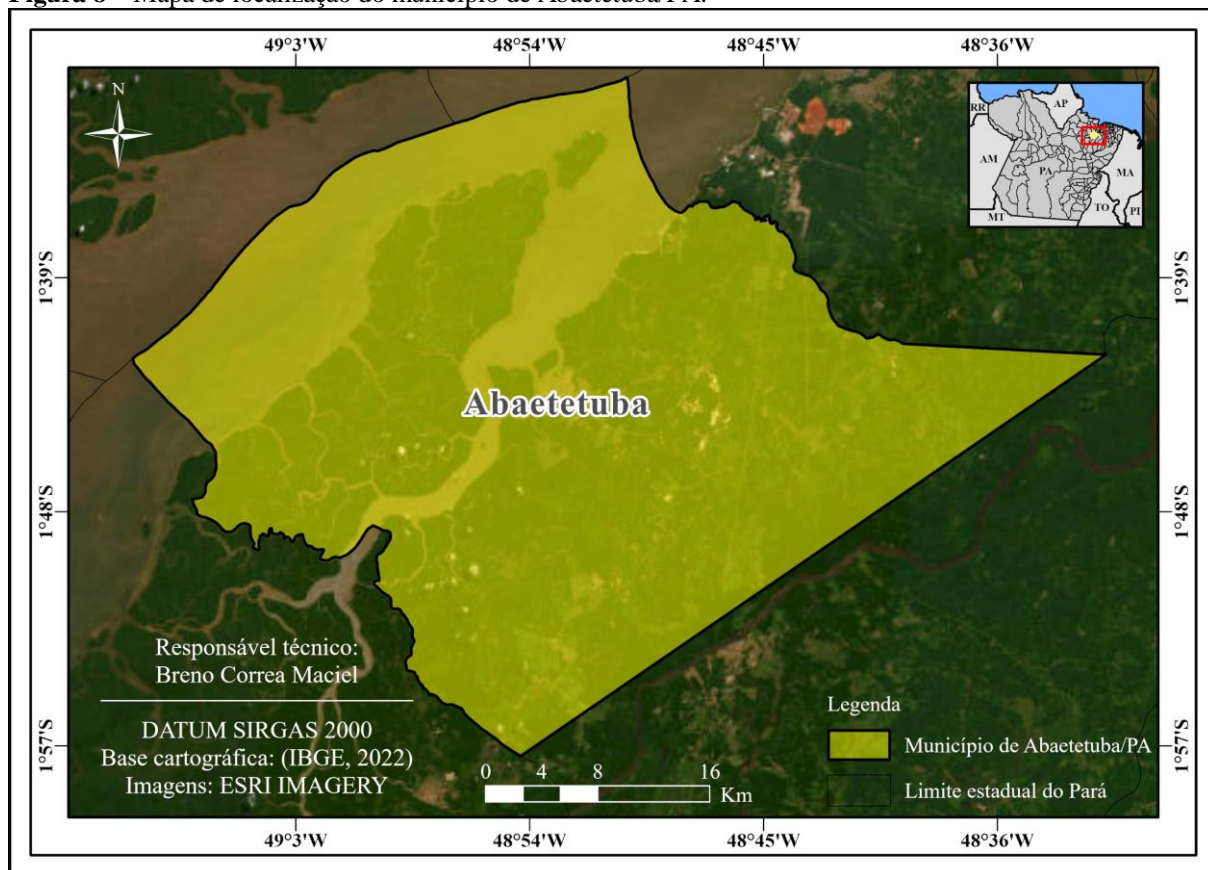
Purificação (2021) fez uma análise de decisão multicritério em SIG aplicados ao GRSU na escolha de áreas para a implantação de AS. Por meio do SIG e análise multicritério de decisão o autor pode criar dois modelos que ajudam a escolher áreas aptas. O primeiro modelo contou com critérios restritivos aplicados a quinze fatores já estabelecidos por leis e o segundo modelo utilizou não restritivos aplicados a onze fatores, a partir de conhecimentos técnicos e de literatura. No final, o autor definiu peso para cada critério por meio do método AHP e com o cruzamento dos dois modelos obteve-se as áreas para AS.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

O município de Abaetetuba (**Figura 8**) pertence à região do Baixo Tocantins, no nordeste paraense. Sua área territorial é de 1.611,15 km², com uma população de 158.188 habitantes e densidade demográfica de aproximadamente 98,21 hab./km² (IBGE, 2022). O município é dividido em duas zonas principais: urbana e rural. A zona urbana abrange a sede principal e o distrito de Beja, enquanto a zona rural é subdividida em área insular e comunidades afastadas do centro urbano.

Figura 8 – Mapa de localização do município de Abaetetuba/PA.



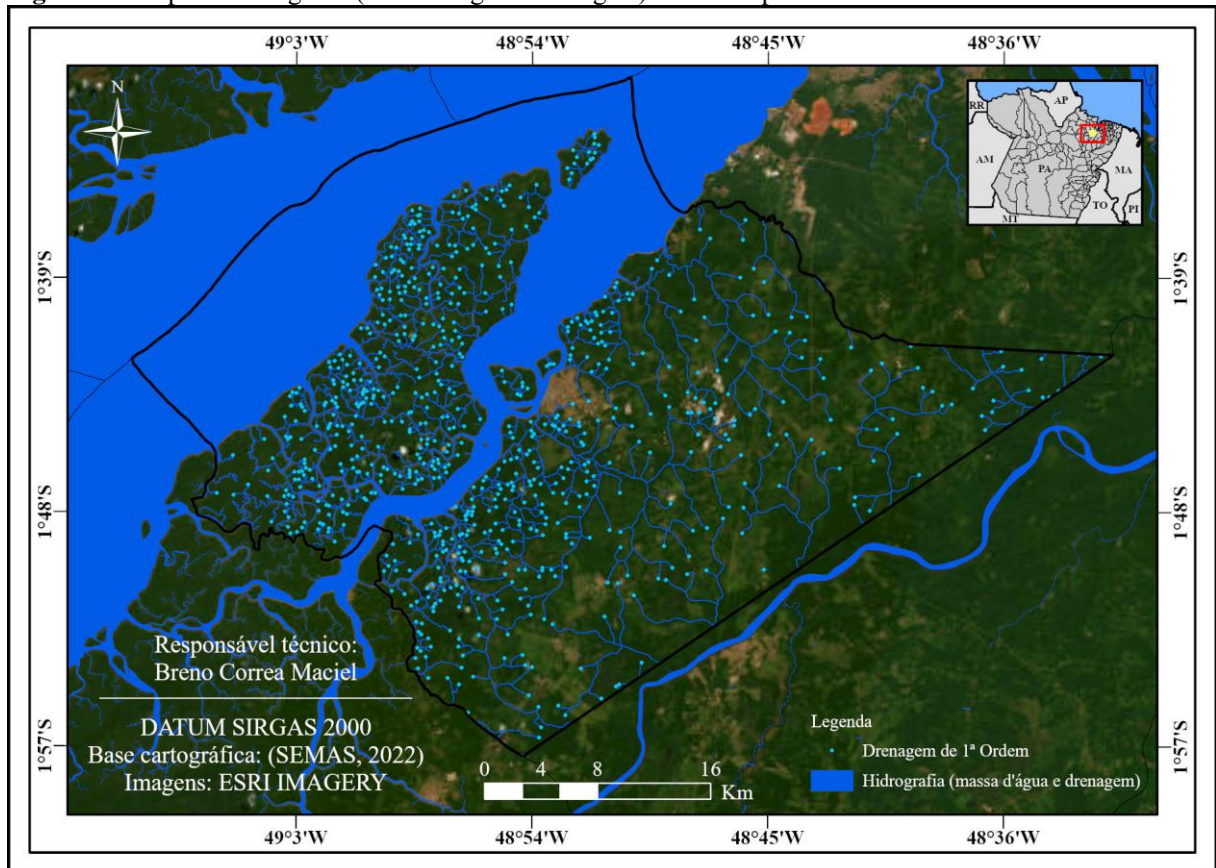
Elaboração: Autor (2024).

4.1.1 Hidrografia

Abaetetuba pertence à macrorregião hidrográfica Tocantins-Araguaia e é drenada por diversos rios e canais, com inúmeras nascentes presentes (**Figura 9**). A área insular é composta principalmente pelas ilhas Urubuéua, Sirituba, Capim, Compopema, entre outras (Abaetetuba,

2006). A área costeira do município é banhada pelo Rio Maratauíra e pela Baía do Capim, ambos sob influência da foz do Rio Tocantins e do efeito de maré associado à entrada de água do Oceano Atlântico.

Figura 9 – Mapa da hidrografia (massa d’água e drenagem) do município de Abaetetuba/PA.

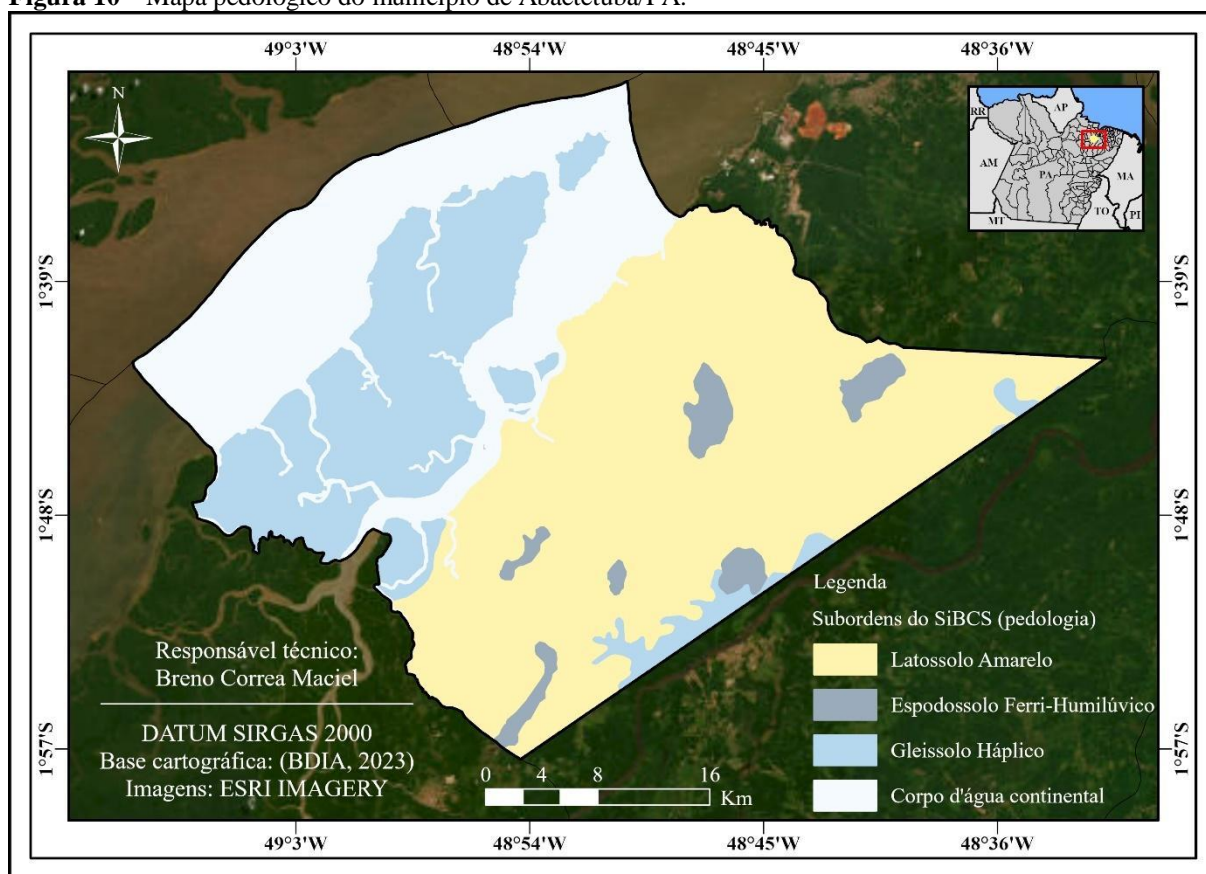


Elaboração: Autor (2024).

4.1.2 Pedologia

Conforme dados do Banco de Informações Ambientais (BDiA, 2023) do IBGE, Abaetetuba apresenta três tipos de solos: Latossolo Amarelo, Gleissolo Háplico e Espodosolo Ferri-Humilúvico (**Figura 10**).

Figura 10 – Mapa pedológico do município de Abaetetuba/PA.



Elaboração: Autor (2024).

O Latossolo Amarelo pertence ao grupo dos latossolos e é caracterizado por apresentar horizonte B latossólico. Por ter um elevado teor de óxidos de ferro e alumínio, esse tipo de solo apresenta uma coloração avermelhada ou amarelada e, além disso, possui boa capacidade de retenção de água e nutrientes (EMBRAPA, 2021).

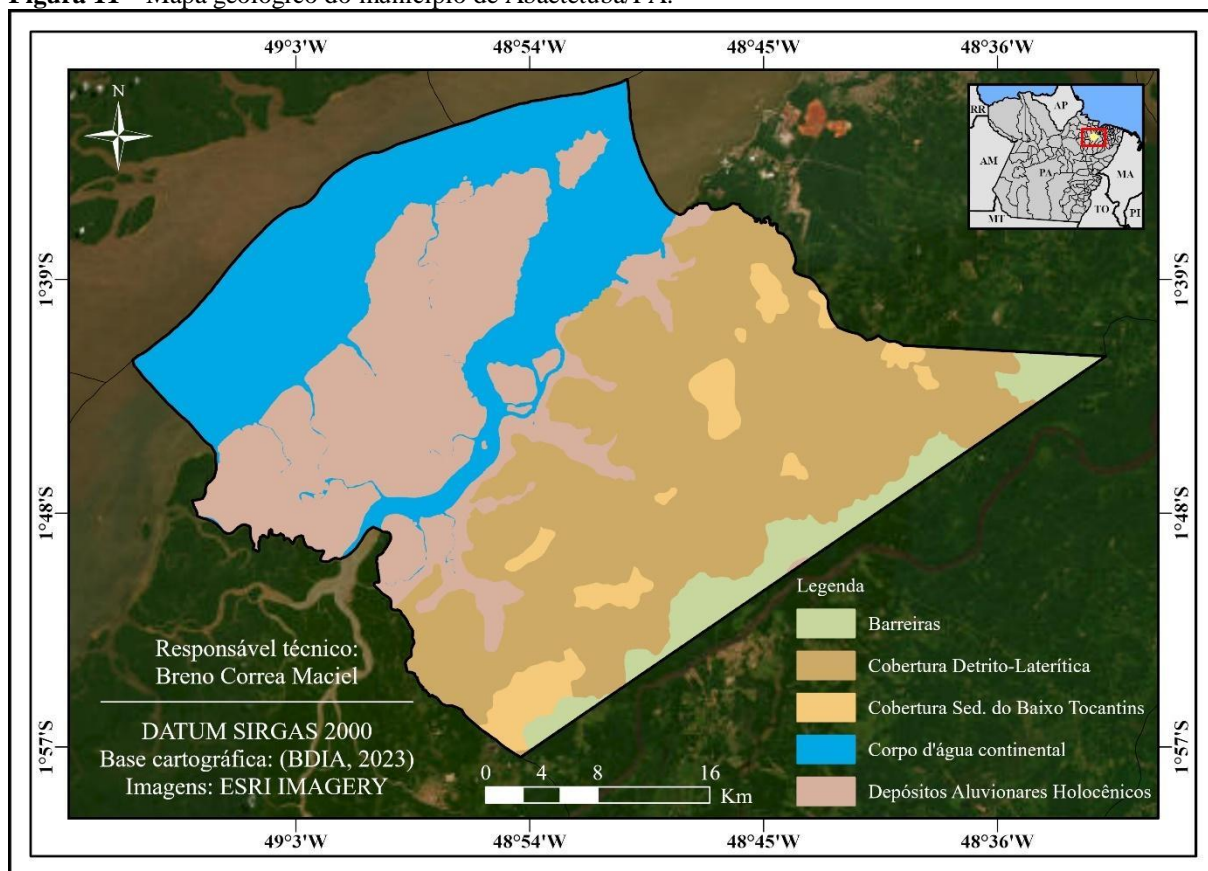
Quanto à classe Gleissolo Háplico, trata-se de um solo constituído por material mineral com horizonte glei, o que indica alta saturação por água ao longo da maior parte do ano. Esse tipo de solo é encontrado em áreas de várzeas, barreiras de inundação e em locais sujeitos à saturação hídrica temporária. Com tons escuros, a coloração do Gleissolo Háplico pode variar devido ao acúmulo de matéria orgânica (EMBRAPA, 2021).

Tratando-se do Espodossolo Ferri-Humilúvico, são solos marcados pela presença de horizontes espódicos, que são camadas nas quais há o acúmulo de material orgânico misturado com material mineral. Esse tipo de solo tem coloração escura e apresenta restrição na retenção de água, pois são solos arenosos e muito profundos (EMBRAPA, 2021).

4.1.3 Geologia

De acordo com o BDIA (2023), a geologia do município é caracterizada por terrenos sedimentares que datam da Formação Barreiras à Cobertura Cenozoica Indiscriminada, tanto antiga quanto recente (**Figura 11**). A estrutura geológica da região inclui extensas áreas de Depósitos Aluvionares Holocênicos, assim como Cobertura Detrito-Laterítica, que são responsáveis pela formação dos terrenos mais recentes na área.

Figura 11 – Mapa geológico do município de Abaetetuba/PA.



Elaboração: Autor (2024).

4.1.4 Geomorfologia

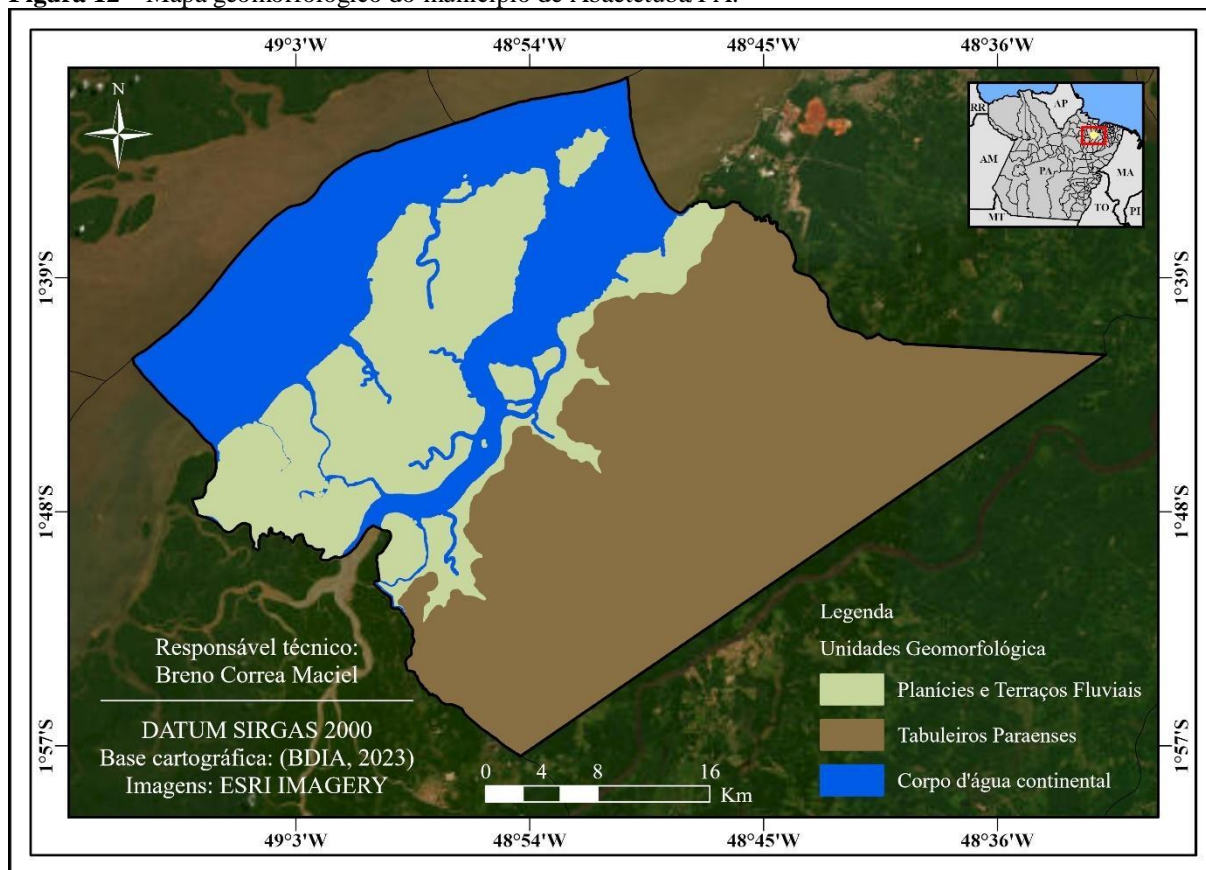
A geomorfologia de Abaetetuba é caracterizada por duas unidades predominantes: Planícies e Terraços Fluviais e Tabuleiros Paraenses (**Figura 12**).

As planícies fluviais são terrenos relativamente planos formados pela ação de rios e córregos, que, ao longo do tempo, depositam sedimentos em suas margens. Sua composição sedimentar é formada por areia, argila, silte e rochas pequenas. As áreas com essa formação geomorfológica são férteis, tornando-as ideais para o cultivo agrícola. Os terraços fluviais são

formados por elevações em regiões onde o processo erosivo e a deposição de sedimentos criam diferentes níveis de terreno ao longo do tempo.

Os Tabuleiros Paraenses apresentam relevos homogêneos, caracterizados por vastas superfícies planas ou suavemente inclinadas. Essas superfícies exibem uma morfologia tabular, o que significa que têm uma configuração ampla e plana (Prata *et al.*, 2020). Osis *et al.* (2016) afirmam que o relevo dos tabuleiros é geralmente pouco acidentado e pode ser levemente dissecado, com pequenas variações de altitude que criam uma aparência relativamente nivelada. Carvalho *et al.* (2013) ressalta que esse padrão geomorfológico resulta de processos de erosão e sedimentação prolongados, que modelaram essas áreas em uma superfície ampla e estável, destacando-se em relação às áreas ao redor, geralmente mais acidentadas.

Figura 12 – Mapa geomorfológico do município de Abaetetuba/PA.



Elaboração: Autor (2024).

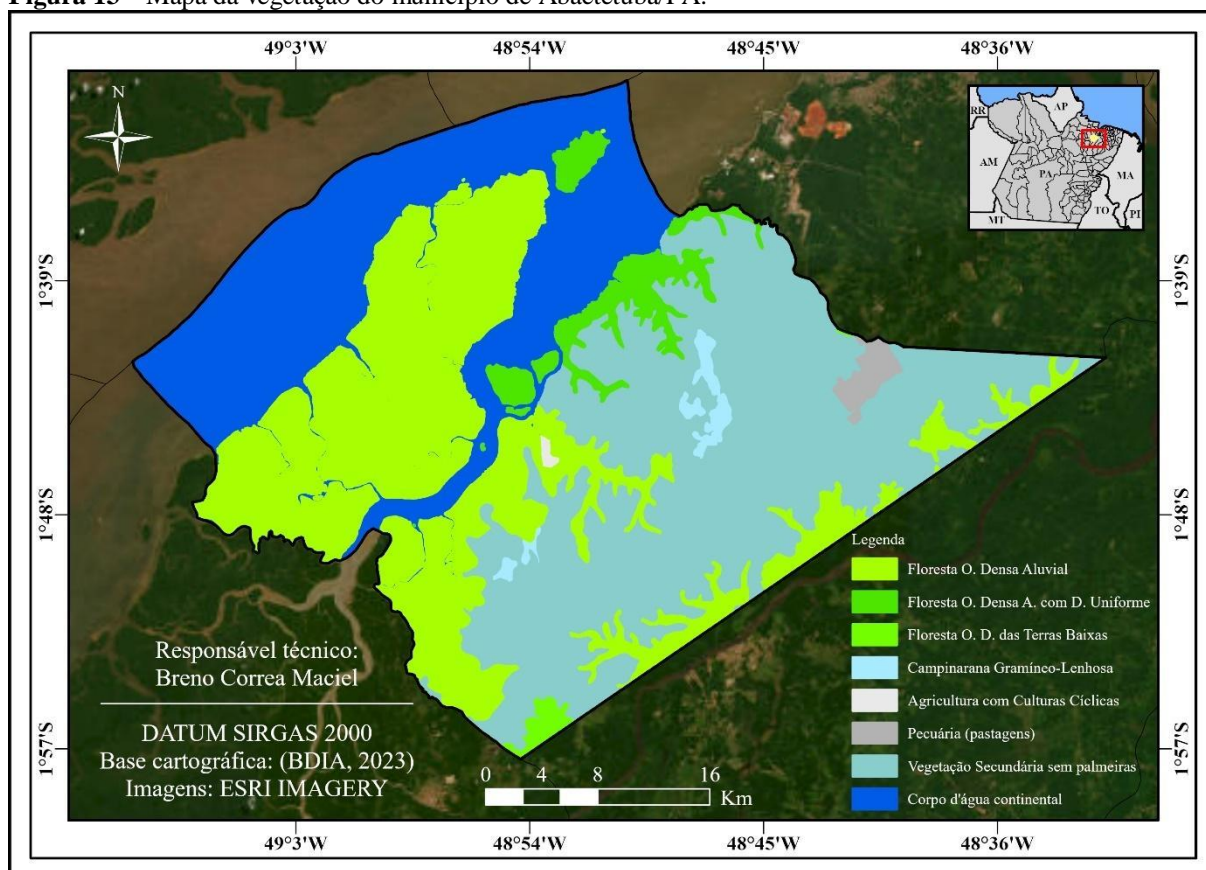
4.1.5 Vegetação

Abaetetuba está inserido no Bioma Amazônico e sua vegetação está dividida em áreas com vegetação florestal e vegetação não florestal (**Figura 13**). As vegetações predominantes

são a Floresta Ombrófila Densa Aluvial, Floresta Ombrófila Densa Aluvial com Dossel Uniforme e Floresta Ombrófila de Terras Baixas.

Quanto às vegetações não florestais, elas são compostas, em sua maioria, por vegetação secundária sem palmeiras, seguida pela campinarana gramíneo-lenhosa. Em menor proporção, encontram-se as áreas destinadas à agricultura com culturas cíclicas e à pecuária.

Figura 13 – Mapa da vegetação do município de Abaetetuba/PA.



Elaboração: Autor (2024).

4.1.6 Uso e cobertura da terra

O limite territorial de Abaetetuba apresenta uma paisagem complexa, caracterizada por extensas formações florestais e florestas alagáveis que desempenham um papel essencial na manutenção da biodiversidade e na regulação hídrica (MapBiomias, 2024). Segundo Neves e Almeida (2022), as florestas de várzea e os campos alagados ocupam grande parte do território, sendo áreas ecologicamente sensíveis e de alta importância para os ecossistemas aquáticos.

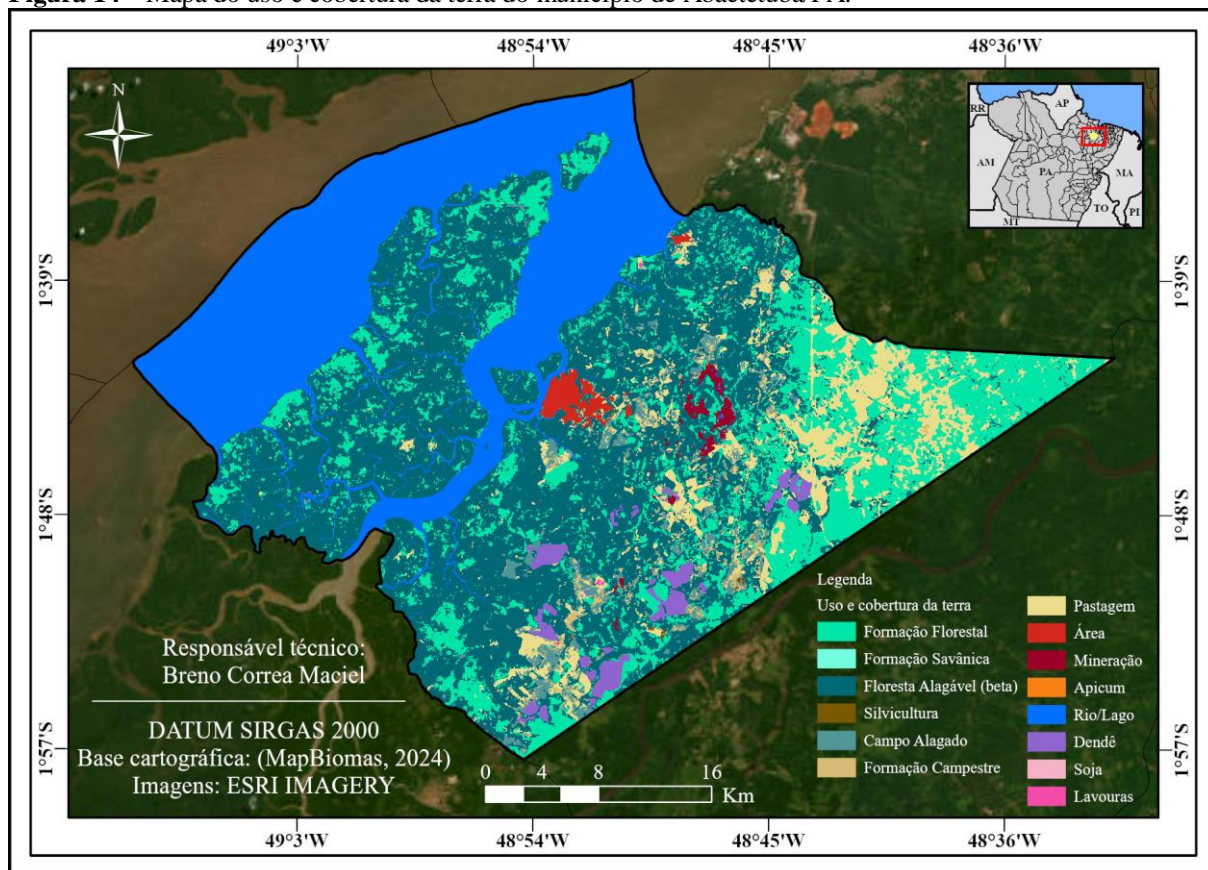
Moreira *et al.* (2018) ressaltam que a expansão da agropecuária, especialmente a pastagem e a dendeicultura, tem sido um dos principais vetores de modificação da paisagem,

com impactos sobre a cobertura florestal e a qualidade dos recursos hídricos. Conforme Iglesias (2021), o crescimento urbano ocorre de maneira fragmentada, concentrando-se em áreas de maior acessibilidade e proximidade das principais rodovias. Anjos *et al.* (2021) identificaram a presença de pequenos trechos de mineração, embora sua relevância econômica ainda seja limitada em comparação a outros usos da terra.

Cardoso, Blanco e Frias (2022) destacam que a ocupação do solo no município segue um padrão de adaptação às condições ambientais, onde a presença de corpos hídricos influencia diretamente a distribuição das atividades produtivas e urbanas.

Na **Figura 14** é apresentado o mapa de uso e cobertura da terra.

Figura 14 – Mapa do uso e cobertura da terra do município de Abaetetuba/PA.



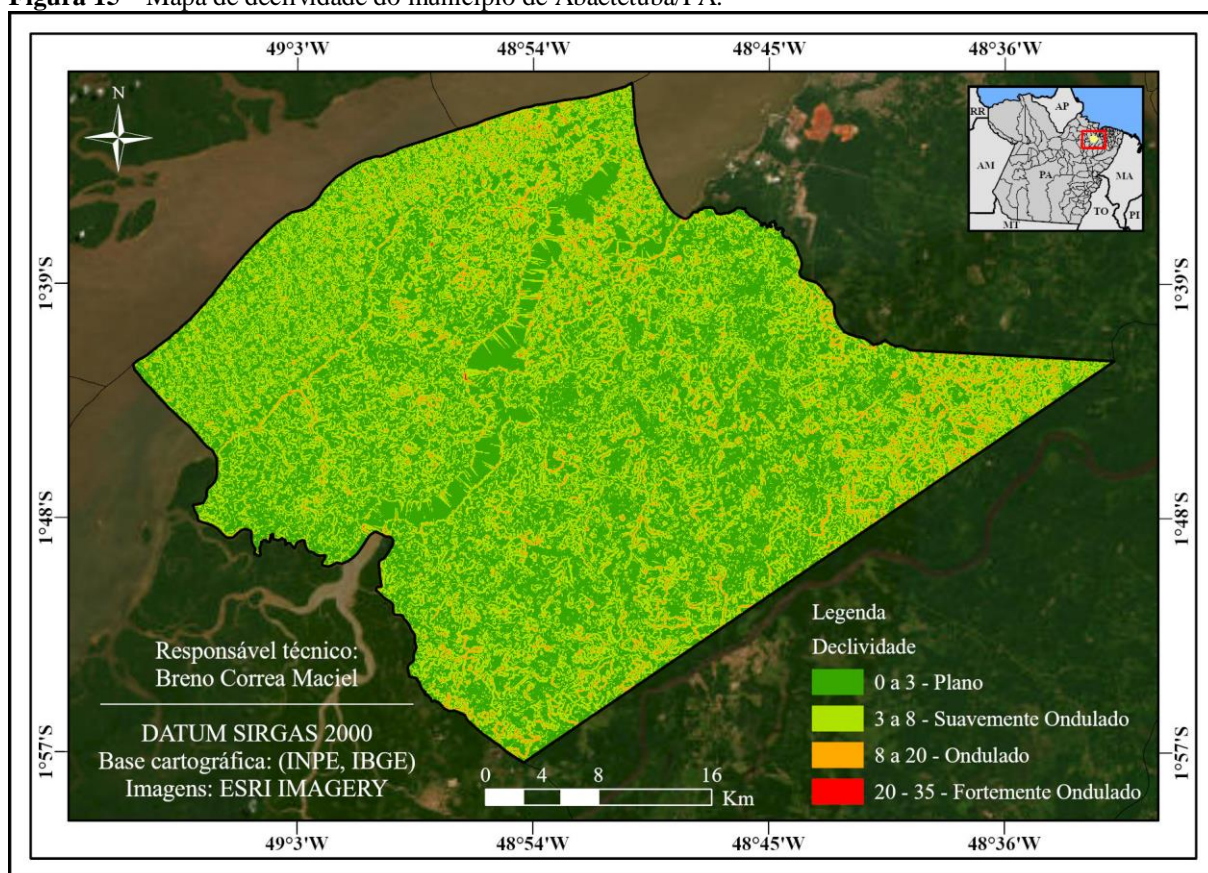
Elaboração: Autor (2024).

4.1.7 Declividade

A declividade do município de Abaetetuba, apresenta terrenos planos e suavemente ondulados. Conforme a **Figura 15**, a maior parte da área municipal está na faixa de declividade entre 0 a 3% (plano) e 3 a 8% (suavemente ondulado), destacada em verde e amarelo. Essas características são típicas de regiões próximas a rios e áreas de várzea, favorecendo atividades

agrícolas, ocupação urbana e infraestrutura viária. Pequenas áreas apresentam declividades mais acentuadas, entre 8 a 20% (ondulado) e 20 a 35% (fortemente ondulado), indicadas em laranja e vermelho, respectivamente, podendo representar locais de maior restrição para determinadas ocupações e necessidade de manejo especial para evitar processos erosivos.

Figura 15 – Mapa de declividade do município de Abaetetuba/PA.



Elaboração: Autor (2024).

4.1.8 Clima

O município de Abaetetuba caracteriza-se por um clima tropical úmido do tipo Am, segundo a classificação de Köppen-Geiger, caracterizado por altas temperaturas e elevada umidade relativa do ar ao longo do ano (Pereira; Costa, 2022). A temperatura média anual situa-se em torno de 27°C, com variações sazonais pouco expressivas (Alvares *et al.*, 2013). A precipitação média anual varia entre 2.500 mm e 3.000 mm, sendo distribuída de maneira sazonal, com um período chuvoso bem definido de janeiro a junho, quando ocorrem os maiores índices pluviométricos devido à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e à intensificação dos ventos alísios de nordeste (Moura *et al.*, 2019). O período seco ocorre nos últimos meses do ano, apresentando uma redução significativa das chuvas, embora ainda

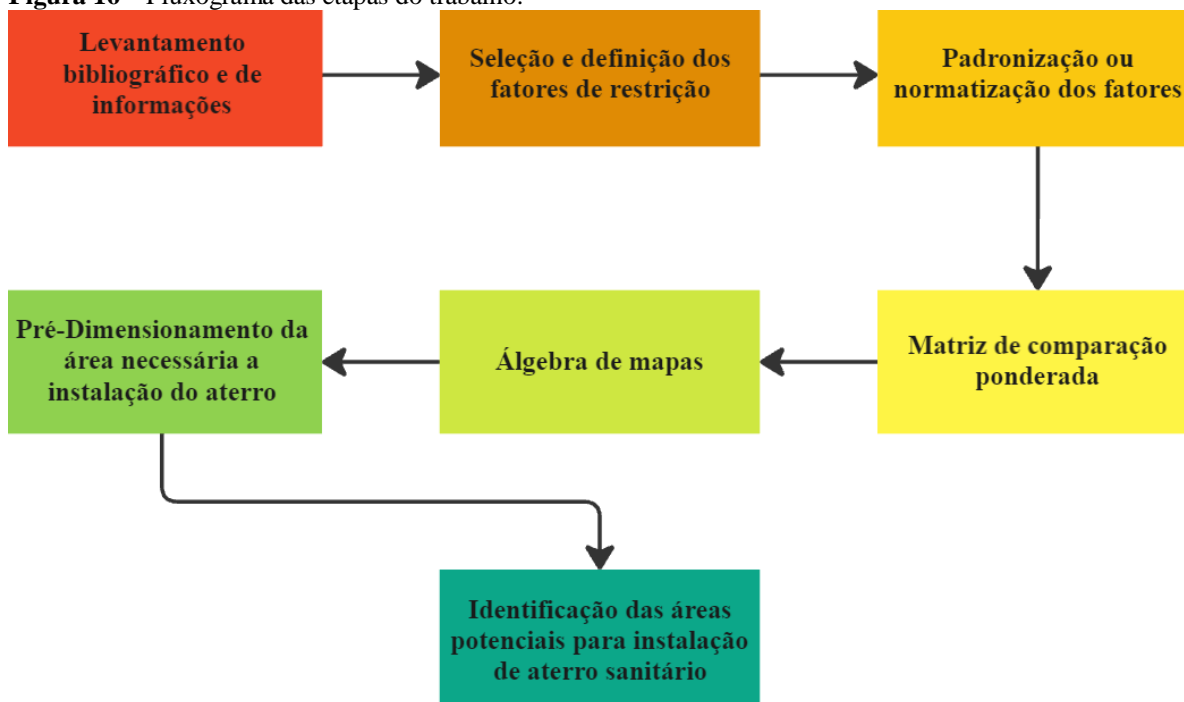
ocorram precipitações esparsas associadas à influência da umidade amazônica e à dinâmica atmosférica regional (Marengo *et al.*, 2017).

4.2 Procedimentos metodológicos

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas, por meio dos *softwares ArcGIS 10.5 e ArcGIS Pro*. Optou-se também por integrar a lógica *fuzzy*, a análise multicritério (método AHP) e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

A **Figura 16** sintetiza as etapas do trabalho.

Figura 16 – Fluxograma das etapas do trabalho.



Elaboração: Autor (2024).

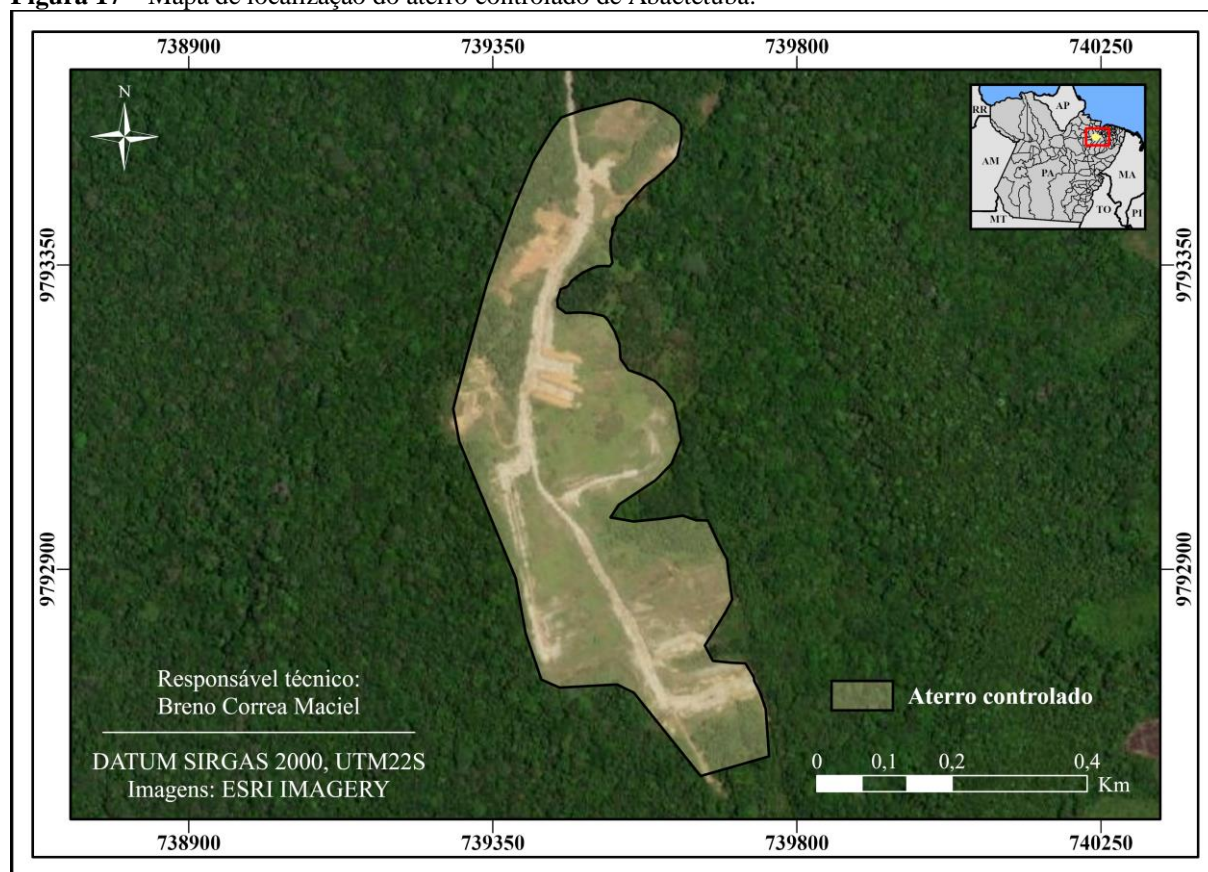
4.2.1 Levantamento bibliográfico e de informações

Por meio de uma revisão bibliográfica, foram analisados os estudos referentes ao tema, como o de Weber, Hasenack (2000); Born (2014); Silva (2019); Schmidt (2017); Gemitzi *e al.* (2007); Neto e Areia (2013); Nas *et al.* (2010); Cardoso, Blanco, Friaes, (2022); Moreita, Barberi e De Oliveira (2018) e Iglesias (2021); Aramaki, Pereira, Dos Santos (2022); Moraes, Ribeiro, Larentis (2012); Saaty (1991); Demattê (2017); NBR 13.896 (1997); NBR 15.849 (2010); DNIT (2023); SEMAS (2021); EMBRAPA (1979); *MapBiomass* (2023); CONAMA

404 (2008); BDiA (2023); ABNT 8419 (1992); Brasil (2008); Lourenço *et al.* (2015); De Oliveira Neto (2011); Aguiar *et al.* (2022). Outras orientações ambientais, sociais e econômicas relativas aos critérios também foram observadas para garantir maior embasamento na avaliação das áreas para aterro sanitário.

Além disso, foram analisadas as práticas de gestão de resíduos sólidos em Abaetetuba por meio do órgão ambiental do município. Verificou-se que o município atualmente utiliza um aterro controlado para a disposição final dos resíduos sólidos (**Figura 17**), o qual carece de medidas de proteção ambiental e infraestrutura adequada. Adicionalmente, foi informado que existe um estudo técnico que aponta uma área potencial para a instalação de um aterro sanitário. A área recomendada está localizada nas proximidades do atual aterro controlado de Abaetetuba.

Figura 17 – Mapa de localização do aterro controlado de Abaetetuba.



Elaboração: Autor (2024).

Para os dados do tipo vetoriais (*shapefiles*) e matriciais (*raster*) utilizados neste trabalho, tal como indicado na **Quadro 2**, foram adquiridos por meio de diversas fontes, objetivando uma análise abrangente para a pesquisa.

Quadro 2 – Descrição dos dados utilizados para elaboração do estudo.

Parâmetros	Formato	Escala/Resolução	Fonte
Declividade	Matricial (<i>Raster</i>)	30 metros	TOPODATA/INPE, 2011
Geologia	Vetorial (shp)	1:250.000	BDiA/IBGE, 2023
Geomorfologia	Vetorial (shp)	1:250.000	BDiA/IBGE, 2023
Hidrografia	Vetorial (shp)	1:25.000	SEIRH/SEMAS, 2021
Limite Municipal	Vetorial (shp)	1:250.000	IBGE, 2022
Núcleos populacionais	Vetorial (shp)	1:250.000	IBGE, 2022
Pedologia	Vetorial (shp)	1:250.000	BDiA/IBGE, 2023
Rodovias	Vetorial (shp)	1:250.000	DNIT, 2023
Uso e cobertura da terra	Matricial (<i>Raster</i>)	30 metros	MapBiomias, 2023
Vegetação	Vetorial (shp)	1:250.000	BDiA/IBGE, 2023
Unidades de Conservação	Vetorial (shp)	1: 100.000	ANA, 2019

Elaboração: Autor (2024).

4.2.2 Seleção e definição dos fatores de restrição

A seleção de áreas potenciais para instalação de um aterro sanitário envolve uma análise de diversos componentes, os quais pertencem aos eixos social, econômico e ambiental, e que estão baseados em critérios de restrição e escalonados.

Com objetivo de definir os critérios a serem empregados na avaliação de áreas prioritárias a instalação de aterro sanitário no município de Abaetetuba, conduziu-se, por meio de uma revisão bibliográfica fundamentada em trabalhos científicos, legislações e normas que abordam de forma sistemática sobre o assunto, no qual são destacados os critérios de restrição e escalonados aplicados a esse tipo de empreendimento. Portanto, essa análise visa assegurar que a determinação das áreas prioritárias seja respaldada por informações em conformidade com as diretrizes estabelecidas por especialistas e por legislações aplicáveis.

Com isso, foram determinados sete critérios que serviram de base para a condução deste estudo, que são: Distância de Corpos Hídricos, Distância de Rodovias, Pedologia, Distância de Núcleos Urbanos, Geologia, Declividade e Uso e cobertura da terra. Ademais, dos 10 trabalhos utilizados como referência para este estudo, 7 estão ligados a trabalhos científicos e 3 a legislações e normas, conforme representado pelo **Quadro 3**.

Quadro 3 – Critérios levantados na escolha de área para implantação de aterro sanitário.

Referências/ Critérios	Distância de Corpos hídricos	Distância de rodovias	Pedologia	Distância de núcleos urbanos	Geologia	Declividade	Uso e cobertura da terra
ABNT (8419/92)			X		X		
Samizava (2008)	X	X	X	X	X	X	X
Brasil (2008)			X		X		
Born (2014)	X	X	X	X	X	X	X
ABNT (13.896/97)	X	X	X	X	X	X	
Schmidt (2017)	X	X	X	X	X	X	X
Weber e Hasenack (2000)		X	X	X	X	X	X
Lourenço <i>et al.</i> (2015)	X	X	X	X	X	X	X
De Oliveira Neto (2011)	X	X	X	X		X	
Aguiar <i>et al.</i> (2022)	X	X	X	X		X	X

Elaboração: Autor (2024).

Os critérios escolhidos foram classificados como “critérios restritivos” e “critérios escalonados” (**Quadro 4**).

Os critérios restritivos têm natureza booleana (com classes do tipo apto/não apto), agindo de maneira eliminatória. Esse tipo de critério exclui áreas que devido a impossibilidades técnicas ou legais não são viáveis para a destinação de resíduos sólidos. Enquanto isso, os critérios escalonados referem-se às características e condições que tornam um determinado local adequado e propício para a instalação e operação de um aterro sanitário devido seu grau de adequabilidade (Weber; Hasenack, 2000; Born, 2014).

Em conjunto, esses critérios asseguram uma avaliação responsável das áreas prioritárias a instalação de aterro sanitário, haja vista que garante um impacto mínimo e sustentabilidade a longo prazo.

Quadro 4 – Critérios ambientais, sociais e econômicos relacionados a aterro sanitário.

Classificação dos critérios	Critérios	Observações/Justificativa
Restritivos	Distância de corpos hídricos	Para evitar a contaminação da água, geralmente estabelecem-se restrições de distância mínima entre o aterro e corpos d'água, o que geralmente está entre 200 metros.
	Distância de rodovias	Pode haver restrições em relação à proximidade de rodovias para evitar impactos negativos no tráfego e na segurança viária.
	Distâncias de núcleos urbanos	As legislações estabelecem distâncias mínimas entre aterros e áreas urbanas para proteger a saúde da população.
Escalonados	Declividade	Áreas com declividade moderada podem ser mais adequadas para facilitar a construção e minimizar riscos de erosão.
	Pedologia	Solos adequados em termos de capacidade de suporte e permeabilidade são importantes para a construção e estabilidade do aterro.
	Geologia	A geologia pode influenciar na estabilidade do terreno, sendo um critério de aptidão para avaliar a viabilidade da construção.
	Uso e cobertura da terra	Áreas já destinadas a usos específicos, como a pastos ou agrícola, podem ser consideradas de aptidão, desde que estejam em conformidade com regulamentações locais.

Fonte: adaptado de NBR 13.896 (1997), Weber e Hasenack (2000) e Silva (2019).

A combinação dos mais diversos critérios se faz necessária para viabilizar o ajuste e a realização de um estudo abrangente da área destinada aos resíduos sólidos urbanos. Essa integração permite a consideração e, simultaneamente, a análise minuciosa das diversas facetas

envolvidas na implementação de um aterro sanitário, visando evitar quaisquer entraves para o local escolhido para o empreendimento. Dessa maneira, ao unir esses sete critérios, torna-se possível ponderar aspectos ambientais, sociais e econômicos de forma integrada.

Com isso, para alcançar os objetivos deste trabalho, será usado o modelo de avaliação empregada por Weber e Hasenack (2000), Born (2014) e Schmidt (2017) que consiste nas etapas de padronização ou normatização dos fatores, comparação ponderada dos fatores e agregação dos fatores a restrição.







4.2.3 Padronização ou normatização de fatores

A aplicação da lógica *fuzzy* para a padronização ou normatização dos fatores constitui uma escolha estratégica, pois essa abordagem permite a representação de valores em um intervalo de escala que varia de 0 a 1, sendo aplicado a cada um dos fatores analisados (Gemitzi *et al.*, 2007).

Ao expressar esses valores dentro de um espectro contínuo, a lógica *fuzzy* oferece uma representação mais confiável no que se refere a avaliação de locais para a instalação de aterros sanitários, contribuindo para decisões informadas e adaptáveis a complexidades específicas de cada um dos critérios que serão apresentados a seguir.

Mas antes, a fim de definir um padrão de cor para cada nota, será utilizado uma paleta de cores específica, logo, foi escolhido um gradiente que vai do vermelho ao verde. Esse gradiente será utilizado para representar os diferentes níveis de adequabilidade (**Quadro 5**). A transição de vermelho para verde criará uma visualização clara e intuitiva dos variados níveis de adequabilidade, facilitando a interpretação e a comparação de cada mapa.

Quadro 5 – Notas dos critérios e descrição adotada pela lógica de *Fuzzy*.

Cor	Nota	Adequabilidade
	0	Nenhuma adequabilidade
	0,2	Muito baixa adequabilidade
	0,4	Baixa adequabilidade
	0,6	Moderada adequabilidade
	0,8	Alta adequabilidade
	1	Maior adequabilidade

Fonte: Adaptado de Perroni (2021).

4.2.3.1 Distância de núcleos urbanos

A distância de núcleos urbanos é um dos aspectos mais importantes a serem considerados na avaliação de áreas para a instalação de aterro sanitário. A presença de um aterro sanitário próximo a áreas povoadas causa impactos visuais e sonoros significativos. Além dos odores, os ruídos das máquinas e dos veículos, e a própria visão do aterro, causam desconforto e afetam diretamente a qualidade de vida da população. Portanto, a fim de evitar tais problemas, torna-se indispensável uma análise criteriosa das distâncias para o critério distância dos núcleos urbanos.

Para isso, utilizou-se as malhas de setores censitários disponíveis na plataforma do IBGE (2021), no formato *shapefile*. Para este critério, tomou-se por base a NBR 13.896/1997, no qual recomenda que a distância de instalação de um aterro sanitário seja superior a 500 metros do perímetro urbano e núcleos populacionais, além do mais, utilizou-se trabalhos como de Schmidt (2017), Neto e Areia (2013), conforme mencionado no subtópico 3.2.2.1.

Diante disso, em ambiente SIG, foi adicionado o *shapefile* das malhas censitárias e por meio da ferramenta *euclidean distance*, pode-se gerar uma imagem *raster*, no qual, cada pixel faz referência a um valor da distância de núcleos urbanos. Em seguida, reclassificou-se a base, onde, foi determinado que as distâncias inferiores a 500 e superiores a 20.000 metros recebem peso 0, indicando áreas sem nenhuma adequabilidade a implantação do aterro sanitário, enquanto, distâncias entre 2.000 a 5.000 será atribuído peso 1, tornando-as com maior adequabilidade.

A **Tabela 4** apresenta com mais clareza.

Tabela 4 – Notas de adequabilidade em função da distância para o critério de distância de centro urbano.

Notas de adequabilidade	Classificação (m)
0,0	$d \leq 500$ e $d > 20.000$
0,2	-
0,4	500 - 2.000
0,6	10.000 - 20.000
0,8	5.000 - 10.000
1,0	2.000 - 5.000

Fonte: Autor (2024).

4.2.3.2 Distância de rodovias

Para a elaboração da base de distância das estradas, foi usado com referência a base cartográfica disponibilizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2023). No ambiente SIG, foi extraído apenas as estradas que compõem o município de Abaetetuba para facilitar o processamento. Com auxílio da ferramenta *euclidean distance* foi possível gerar uma imagem do tipo *raster*, no qual, a distância de cada *pixel* da imagem, irá corresponder a distância até as estradas.

Na **Tabela 5**, é possível observar os valores de adequabilidade atribuídos a cada distância. Portanto, determinou-se que áreas com distâncias inferiores a 200 metros são restritivas, ou seja, não apresentam nenhuma adequabilidade, tornando inviável a implantação de aterro sanitário nestas áreas, logo, recebe peso 0. À medida que a distância das áreas vai se afastando das rodovias, maior será o peso, porém, cabe ressaltar a importância de se estabelecer uma distância máxima, haja vista que devem ser observados os custos para a construção de uma rodovia com acesso ao aterro (Silva, 2019). Nesse contexto, foi atribuída a distância máxima de 1.000 metros, recebendo peso igual a 1.

Tabela 5 – Notas de adequabilidade em função da distância para o critério de distância de estradas.

Notas de adequabilidade	Classificação (m)
0	$d < 200$ e $d > 1.000$
0,2	-
0,4	200 - 400
0,6	400 - 600
0,8	600 - 800
1	800 - 1.000

Fonte: Autor (2024).

4.2.3.3 Distância dos corpos hídricos

Para o critério distância de corpos hídricos, utilizou-se como referência, a NBR 13.896/97, que determina distância mínima de 200 metros dos corpos hídricos e estudos realizados por Schmidt (2017), Silva (2019) e Cardoso, Blanco, Friaes, (2022).

Neste contexto, para a elaboração dessa base utilizou-se como referência a base hidrográfica do Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos - SEIRH (SEMAS, 2021), disponível no site da Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade - SEMAS/PA, extraíndo apenas a área de interesse.

Após isso, em ambiente SIG, foi realizada a conversão do vetor para uma imagem do tipo *raster* por meio da ferramenta *euclidean distance*, no qual, cada *pixel* corresponde a um valor de distância para o recurso hídrico na imagem. Com o auxílio da ferramenta *reclassify*, pode-se reclassificar a base, no qual determinou-se que distâncias inferiores a 200 metros receberam peso 0, ou seja, áreas sem nenhuma adequabilidade, enquanto, distâncias superiores a 200 metros recebem maior peso (**Tabela 6**), logo, conforme fosse se afastando de corpos hídricos maior seria a adequabilidade da área.

Tabela 6 – Notas de adequabilidade em função da distância para o critério de distância de corpos hídricos.

Notas de adequabilidade	Classificação (m)
0	d < 200
0,2	200 - 400
0,4	400 - 600
0,6	600 - 800
0,8	800 - 1.000
1	d > 1.000

Fonte: Adaptado de NBR 13.896/97, Schmidt (2017), Silva (2019) e Cardoso, Blanco, Friaes, (2022).

4.2.3.4 Declividade

Para a elaboração da base declividade, foi necessário a utilização de dados *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA), dessa forma, as classes foram determinadas de acordo com a classificação disponível pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979).

A princípio, foi obtida apenas uma imagem SRTM (01S495) disponível no site do TOPODATA. Com auxílio de *software* SIG, foi realizada a extração da declividade apenas para área de interesse. Por conseguinte, por meio da ferramenta *fill*, foi possível preencher pequenos coletores na imagem *raster*, a fim remover pequenas imperfeições, seguido da eliminação de *pixels* negativos. Após isso, foi possível elaborar o modelo digital de elevação (MDE), no qual obteve-se valores em porcentagem. Por fim, através da ferramenta *reclassify*, pode-se

reclassificar a imagem, onde determinou-se que os maiores pesos seriam para as áreas com relevos mais planos e menor peso para áreas com declividade mais acentuada.

Na **Tabela 7**, são apresentadas as notas atribuídas a cada tipo de relevo de acordo com a declividade.

Tabela 7 – Notas de adequabilidade para o critério de distância de declividade.

Notas de adequabilidade	Relevo	Declividade
1	Relevo Plano	0 - 3%
0,8	Relevo Suavemente Ondulado	3 - 8%
0,6	Relevo Ondulado	8 - 20%
0,4	Relevo Fortemente Ondulado	20 - 45%
0	Relevo Montanhoso	45 - 75%
0	Relevo Fortemente Montanhoso	>75%

Elaboração: Autor (2024).

4.2.3.5 Uso e cobertura da terra

A análise do uso e cobertura da terra representa uma das etapas fundamentais no processo de esquematização de variáveis a serem consideradas no estudo, proporcionando uma visão abrangente do melhor terreno a ser escolhido para instalação do aterro sanitário.

Portanto, é de fundamental importância um levantamento inicial para identificar e compreender as características do solo da área de estudo, o que contribui significativamente para a seleção apropriada de locais a implementação de aterro sanitário, levando em consideração fatores como sustentabilidade ambiental, infraestrutura existente e possíveis impactos gerados.

Com isso, para categorização do uso e cobertura da terra utilizou-se dados matriciais secundários provenientes da plataforma *MapBiomas* (coleção 8), no qual é possível identificar a presença de 14 macros classes para a área de estudo (**Quadro 6**).

Em ambiente SIG, por meio da ferramenta *reclassify*, foi possível reclassificar as classes de acordo com o grau de adequabilidade, atribuindo-lhes valores dentro do intervalo de 0 a 1.

Quadro 6 – Caracterização do uso e cobertura da terra para Abaetetuba.

Coleção - Classe 8	Macro classes para o município de Abaetetuba	Descrição (Bioma Amazônico)
Floresta	Formação Floresta	Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Sempre-Verde, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, Savana Arborizada, Áreas que sofreram ação do fogo ou exploração madeireira, Floresta resultante de processos naturais de sucessão, após supressão total ou parcial de vegetação primária por ações antrópicas ou causas naturais, podendo ocorrer árvores remanescentes de vegetação primária. Floresta de bambu (Acre).
	Formação Savânica	Formação vegetal aberta com um estrato arbustivo e/ou arbóreo mais ou menos desenvolvido, estrato herbáceo sempre presente.
	Floresta Alagável (beta)	Floresta Ombrófila Aberta Aluvial estabelecida ao longo dos cursos de água, ocupa as planícies e terraços periodicamente ou permanentemente inundados, que na Amazônia constituem fisionomias de matas-de-várzea ou matas-de-igapó, respectivamente.
Formação Natural não florestal	Campo Alagado e Área Pantanosa	Vegetação de várzea ou campestre que sofre influência fluvial e/ou lacustre.
	Formação Campestre	Savana, Savana Parque (Marajó), Savana-Estépica (Roraima), Savana Gramíneo-Lenhosa, Campinarana, para regiões fora do Ecótono Amazônia/Cerrado. E para regiões dentro do Ecótono Amazônia/Cerrado predominância de estrato herbáceo.
	Apicum	Apicuns ou Salgados são formações quase sempre desprovidas de vegetação arbórea, associadas a uma zona mais alta, hipersalina e menos inundada do manguezal, em geral na transição entre este e a terra firme.

Agropecuária	Pastagem	Áreas de pastagem predominantemente plantadas, diretamente ligadas à atividade agropecuária. As áreas de pastagem natural, por sua vez, são predominantemente caracterizadas como formações campestres ou campo alagado, podendo ser submetidas ou não a práticas de pastejo.
	Soja	Áreas cultivadas com a cultura da soja.
	Dendê	Áreas cultivadas com monocultura de dendê.
	Outras Lavouras Temporárias	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessitam de novo plantio para produzir.
	Silvicultura	Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. pinus, eucalipto, araucária).
Área não vegetada	Área Urbanizada	Áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura.
	Mineração	Áreas referentes a extração mineral de porte industrial ou artesanal (garimpos), havendo clara exposição do solo por ação por ação antrópica. Somente são consideradas áreas próximas a referências espaciais de recursos minerais do CPRM (GeoSGB), da AhkBrasilien (AHK), do projeto DETER (INPE), do Instituto Socioambiental (ISA) e da FL Lobo <i>et al.</i> 2018.
Corpo d'água	Rio, Lago e Oceano	Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.

Fonte: Adaptado do *MapBiomias*, 2023.

Diante desse contexto, foi imperativa a reestruturação das classes de uso e ocupação da terra do município de Abaetetuba. Posteriormente, foi realizada uma revisão extensiva de literaturas e das Normas Brasileiras pertinentes, com o intuito de aprimorar a atribuição dos valores de adequabilidade para cada uma das classes estabelecidas.

De início, foram demarcadas áreas restritas, que incluíram os espaços urbanizados e corpos hídricos, os quais foram atribuídos peso 0. Essas demarcações seguem as orientações das diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA 404/2008 e da NBR 13.896/1997, que preconizam distância superior a 500 e 200 metros, respectivamente. Adicionalmente, foram considerados áreas sem nenhuma adequabilidade Floresta Alagável (beta), Campo Alagado,

mineração e Área Pantanosa, estas por apresentarem em toda sua extensão áreas alagadas, tornando-as inadequadas para a instalação de um aterro sanitário.

Ademais, foram atribuídas notas mais elevadas as regiões ocupadas por pastagem, formação savânica, formação campestre e silvicultura, isso deve-se ao fato que essa decisão reflete o reconhecimento do menor impacto ambiental dessas áreas em comparação com ecossistemas mais sensíveis. Por sua vez, áreas destinadas à pastagem receberam nota máxima (1), pois emergem como opções preferenciais para a instalação de aterro sanitário, uma vez que representam regiões previamente desmatadas ou que dispensam intervenções nesse sentido Moreita, Barberi e De Oliveira (2018) e Iglesias (2021).

Por outro lado, foi atribuído menor peso para áreas ocupadas por formação florestal, haja vista que a supressão de florestas acarreta consequências sérias, incluindo a perda significativa de biodiversidade, o desequilíbrio ambiental e à amplificação dos impactos adversos na qualidade do solo e da água, além das dificuldades no processo de licenciamento necessário para realizar a supressão da cobertura vegetal, tornando-as inviáveis para a instalação de um aterro sanitário (Aramaki; Pereira; Dos Santos, 2022).

Conforme demonstrado na **Tabela 8**, é possível observar com melhor clareza os julgamentos de cada classe com seu respectivo peso.

Tabela 8 – Valor de adequabilidade para o critério uso e cobertura da terra.

Valor de adequabilidade	Classes
0	Floresta Alagável (beta); Campo Alagado e Área Pantanosa; Áreas Urbanizadas; Mineração; Rio, Lago e Oceano.
0,6	Formação Floresta; Soja; Apicum; Dendê (Beta); Outras Lavouras Temporárias.
0,8	Formação Savânica; Formação Campestre; Silvicultura.
1	Pastagem.

Fonte: Autor (2024).

4.2.3.6 Pedologia

Com isso, para a elaboração da base pedológica do município de Abaetetuba, foi utilizado como referência a base de dado vetorial disponível no Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA, 2023), no qual, tomou-se por base as classes definidas pela EMBRAPA, bem como suas características.

Segundo a EMBRAPA (2021), o Latossolo Amarelo são solos desenvolvidos de materiais argilosos ou areno-argilosos sedimentares da formação Barreiras, além disso, apresentam boas condições físicas de retenção de umidade e boa permeabilidade. Em decorrência disso, receberam peso máximo (1), tornando-as áreas com maior adequabilidade a receber projeto de aterro sanitário.

O Gleissolo Háptico, por vezes, se forma em regiões inclinadas devido à influência de surgências de água subterrânea, resultando em solos permanentemente ou periodicamente saturados por água. Portanto, devido a essas características, o solo é considerado inadequado, recebendo peso zero (0) (EMBRAPA, 2021).

Por último, o Espodossolo Ferri-Humilúvico caracteriza-se, em geral, por sua acidez moderada a forte, frequentemente apresentando baixa saturação por bases. Quanto à textura, predomina a areia, sendo menos comum a textura média e raramente a argilosa, portanto, devido estas características, obrigatoriamente, a classe também recebeu peso zero (0) (EMBRAPA, 2021).

Após a determinação dos pesos, foi possível reclassificar cada classe de solo de acordo com os julgamentos anteriores. Com isso, em ambiente SIG, por meio da ferramenta *reclassify*, foi possível reclassificar cada classe de acordo com o grau de adequabilidade, atribuindo-lhes valores dentro do intervalo de 0 a 1. Com isso, na **Tabela 9**, torna-se mais claro observar as avaliações de cada classe juntamente com seus pesos atribuídos.

Tabela 9 – Valor de adequabilidade para o critério pedologia.

Valor de adequabilidade	Classes
0	Gleissolo Háptico e Espodossolo Ferri-Humilúvico
1	Latossolo Amarelo

Fonte: Autor (2024).

4.2.3.7 Geologia

Para avaliação do critério geologia, foram utilizados como referência a base de dados do Banco de Dados de Informações Ambientais, no qual, as áreas formadas pela unidade geológica Barreiras foram consideradas mais adequadas para a instalação de aterro sanitário devido sua estabilidade geotécnica, além do mais, este tipo de geologia é preferível por ser mais confiável contra infiltração e contaminação do solo e da água, em caso de áreas onde os recursos

naturais são limitados, logo, a classe geológica Barreiras são preferíveis, com isso, foi atribuído nota máxima (1).

Na Cobertura Detrito-Laterítica foi atribuído peso 0,8, pois este tipo de geologia apresenta boa capacidade de controle da infiltração devido à baixa permeabilidade, além da estabilidade e resistência quando compactada.

Já a Cobertura Sedimentar do baixo Tocantins (0,2) e Depósitos aluvionares holocênicos (0) foram atribuídos pesos inferiores devido à sua formação de depósitos aluvionares e coluvionares, estes formados durante sedimentações associados ao Rio Tocantins e seus afluentes.

Na **Tabela 10**, são apresentados com mais detalhe a avaliação de cada classe geológica.

Tabela 10 – Aptidão do critério Geologia.

Valor de adequabilidade	Classes
0	Depósitos aluvionares holocênicos
0,2	Cobertura Sedimentar do baixo Tocantins
0,8	Cobertura Detrito-Laterítica
1	Barreiras

Fonte: Autor (2024).

4.2.3.8 Unidades de Conservação

A pesquisa por dados sobre Unidades de Conservação (UC) no município de Abaetetuba foi realizada em diversas plataformas governamentais, destacando a dificuldade em obter informações detalhadas. Os dados vetoriais utilizados na elaboração do mapa foram obtidos por meio da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Entretanto, não foram identificadas Unidades de Conservação dentro do limite municipal. Diante disso, o mapa gerado não foi incorporado à álgebra de mapas, sendo utilizado apenas para representar as Unidades de Conservação mais próximas ao município.

4.2.4 Comparação ponderada dos fatores

Dentre os diversos métodos de análise multicritério na tomada de decisão, escolheu-se o método de "comparação par a par", também conhecido como *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para a comparação ponderada dos fatores.

O método AHP representa uma metodologia sistemática empregada para avaliação ponderada de fatores em processos decisórios. Essa abordagem se destaca pela sua eficácia na definição de prioridades entre diversos critérios. Ao estruturar hierarquicamente os elementos considerados e utilizar comparações paritárias, a AHP oferece um arcabouço robusto para tomadas de decisão, permitindo uma análise mais precisa e fundamentada em situações complexas e multifacetadas.

Com isso, conduziu-se a comparação por pares, gerando uma matriz e realizando julgamentos comparativos entre duas bases em uma escala que varia entre 1 a 9, conforme definida por Saaty (1991), **Quadro 7**. Essa abordagem foi fundamental para determinar a importância relativa de cada base no contexto da implantação do aterro sanitário (Moraes; Ribeiro; Larentis, 2012). Por meio dos resultados, foi possível calcular o percentual de importância para cada base, o que contribui para uma análise mais detalhada e informada na tomada de decisões referentes à avaliação da área prioritária para a instalação do aterro sanitário.

Quadro 7 – Escala fundamental de Saaty para julgamentos comparativos.

Intensidade	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra, sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Saaty (1991).

Em seguida, foi feita a construção da matriz de comparação par a par, que implica na atribuição de valores de importância a critérios em relação a outros, conforme demonstrado no **Quadro 8**. Esse processo oferece uma estrutura para a análise ponderada, permitindo que

decisões sejam fundamentadas em comparações diretas entre os critérios, contribuindo assim para uma avaliação mais precisa e criteriosa na avaliação de alternativas.

Quadro 8 – Matriz de comparação pareada dos critérios.

Critérios	A	B	C	D	E	F	G
Núcleo Urbano (A)	1						
Corpos Hídricos (B)		1					
Rodovias (C)			1				
Uso e cobertura da Terra (D)				1			
Pedologia (E)					1		
Geologia (F)						1	
Declividade (G)							1

Fonte: Autor (2024).

Após a fase de comparação pareada dos critérios, tornou-se válido calcular o Índice de Consistência (IC) e em seguida a Razão de Consistência (RC), conforme expresso nas equações 1 e 2. Como critério geral conforme definido por Saaty (1991), caso a RC seja inferior a 0,1, considera-se consistência suficiente para dar continuidade aos cálculos do AHP. Em contrapartida, caso o valor for superior a 0,1, deve-se analisar e revisar os julgamentos até alcançar uma melhoria na consistência antes de continuar os cálculos. Com isso, o procedimento visa garantir maior confiabilidade e validade dos resultados obtidos pelo método AHP.

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

IC: Índice de Consistência;

λ_{\max} : Autovalor máximo da matriz;

n: Número de linhas e coluna da matriz.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

RC: Razão de consistência;

IR: Índice Randômico.

O índice de consistência é dado pela **Figura 18** conforme definido por Saaty (1991).

Figura 18 – Índice Randômico.

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.58

Fonte: Saaty (1991).

4.2.5 Agregação dos fatores e restrição (Álgebra de mapas)

Com a definição dos pesos para cada um dos critérios, procedeu-se com o auxílio do *Software ArcGIS 10.5*, *ArcGIS Pro* e da ferramenta *Raster Calculator* a soma ponderada dos critérios para a realização da Álgebra de Mapas, conforme a Equação 3. Esse processo resulta na criação do mapa de adequabilidade geral da região, apresentando valores que variam entre mínimo e máximo de adequabilidade (0 a 1). Em seguida, é gerado o mapa final da avaliação de áreas prioritárias para a instalação de aterro sanitário, no qual será eliminado todas as áreas que apresentarem valor abaixo de 1, dando destaque para as áreas pré-selecionadas.

$$A = \sum P_i * Z_i \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

P_i : Peso da variável;

Z_i : Valor da variável.

4.2.6 Pré-Dimensionamento da área necessária a instalação do aterro sanitário

4.2.6.1 Projeção populacional

A análise da projeção populacional foi um dos principais pontos de partida para a elaboração do presente trabalho, pois a partir disso, foi possível determinar a dimensão da área mínima útil necessária para a implantação de um aterro sanitário no município de Abaetetuba.

A resolução CONAMA nº 404, de 11 de novembro de 2008, atribui que os cálculos relacionados a projeção populacional fazem parte do procedimento técnico convencional para o dimensionamento e operação de aterros sanitário.

Neste contexto, existem vários métodos estatísticos empregados para a determinação da projeção populacional. Para a estimativa da população futura do município de Abaetetuba, foi utilizado como referência o método matemático geométrico, conforme representado pelas equações 4 e 5.

Para a aplicação do método matemático geométrico é fundamental conhecer o tamanho da população em dois pontos temporais diferentes, pois a partir desses dados de referência pode-se analisar a tendência de crescimento populacional ao longo do tempo.

Sendo assim, por meio dos dados dos censos de 2010 e 2022 disponíveis na plataforma do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas – IBGE, pode-se identificar que para o ano de 2010 a população total do município foi de 141.054 habitantes, enquanto, para o ano de 2022, o município atingiu a marca de 158.188 habitantes.

$$\mathbf{Kg} = \frac{\ln(P_2) - \ln(P_0)}{t_2 - t_0} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

Kg: Taxa de crescimento Geométrico;

P₀: população do penúltimo Censo;

P₂: população do último Censo;

t₀: ano do penúltimo Censo e

t₂: ano do último Censo.

A partir da aplicação da equação 4, foi possível calcular a taxa de crescimento geométrico (**Kg**), onde é dado pela diferença do logaritmo natural da população do último censo e da população do penúltimo censo, dividido pela diferença do ano do último censo e do ano do penúltimo censo.

Em seguida, foi utilizado a equação 5 para determinar a projeção populacional, onde **P** é a projeção. Com isso, foi possível calcular a projeção populacional para os próximos 20 anos, a contar a partir de 2025 até 2044. Todos os cálculos foram obtidos com auxílio da ferramenta Excel.

$$P = p_2 e^{kg(t - t_2)} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

P: Projeção Populacional;

p_2 : população do último Censo;

Kg: taxa de crescimento geométrico;

T: ano de previsão e

t_2 : ano do último Censo.

4.2.6.2 Massa dos RS e volume do aterro

O próximo passo após a estimativa populacional do município foi estimar a geração de RSU que serão gerados para o período proposto. Para isso, levou-se em consideração, a geração *per capita* de 1,17 kg/hab. d, tomando por base de acordo com o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado Pará (Pará, 2014).

A geração diária de RSU é realizado pela multiplicação da população com geração *per capita* de resíduos sólidos. Cabe destacar que para a estimativa da massa de RSU gerados, será levado em consideração a população total do município de Abaetetuba.

Portanto, para o cálculo da massa de resíduos sólidos gerados diariamente, deu-se pela equação 6, a seguir.

$$G_{diária} = P * g \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

G_{diária}: Geração diariamente resíduos produzidos (kg/dia);

P: População do município (hab.) e

g: Geração *per capita* de resíduos (kg/hab. dia).

Para a massa de RSU gerados ao longo do horizonte de 20 anos, é realizado pela multiplicação da massa de RSU produzida diariamente, pelos dias do ano e em seguida pelo tempo de vida útil do aterro sanitário, conforme representado pela equação 7.

$$G_{\text{final}} = G_{\text{diária}} * 365 \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:

G_{final}: Volume final esperado para o ano de 2044.

4.2.6.3 Área necessária para a instalação do AS

Para a área necessária para a instalação do aterro sanitário no município de Abaetetuba, optou-se por utilizar a **Quadro 9** de áreas mínimas recomendáveis para a implantação de AS disponibilizado pela Ministério das Cidades. Esse quadro correlaciona diretamente o número de habitantes com a área mínima exigida para a instalação de AS.

Cabe ressaltar ainda, que se optou por utilizar essa abordagem de determinação da área útil para o aterro, no entanto, é válido ressaltar que existem outras maneiras de determinar a área necessária para o AS, por meio de cálculos, porém, segundo Silva (2019), seria necessário informações técnicas específicas da operação do aterro, o que não é objetivo do estudo.

Quadro 9 – Referência de área mínima para implantação do aterro.

População Urbana (habitantes)	Área Mínima Recomendável (ha)
Até 2.000	01 hectares
2.001 a 5.000	02 hectares
5.001 a 10.000	04 hectares
10.001 a 20.000	06 hectares
20.001 a 50.000	10 hectares
50.001 a 100.000	20 hectares
100.0001 a 150.000	25 hectares
150.001 a 250.000	35 hectares
250.001 a 500.00	55 hectares
500.001 a 750.000	95 hectares

Fonte: Brasil (2011).

4.2.7 Identificação das áreas prioritárias para a instalação de aterro sanitário

Após o pré-dimensionamento da área mínima necessária a instalação de AS, serão definidas as áreas que se enquadram nesse valor, no qual será comparada a área mínima necessária juntamente com a área pré-selecionadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Seleção e definição dos fatores de restrição

A seleção e definição dos fatores empregados neste trabalho resultou em sete variáveis distribuídas em fatores ambientais, social e econômico (**Quadro 10**).

Quadro 10 – Fatores para seleção de áreas para a instalação de aterros.

Fatores	Variáveis/critérios
Ambiental	Declividade Distância de corpos Hídricos Geologia Pedologia Uso e ocupação da terra
Social	Distância de núcleos urbanos
Econômico	Distância de rodovias

Elaboração: Autor (2024).

5.2 Padronização com base nos fatores de restrição

Foram gerados mapas padronizados que mostram os níveis de adequabilidade considerando os aspectos físicos-naturais e urbanos do município de Abaetetuba, os quais serão apresentados a seguir.

5.2.1 Distância de núcleos urbanos

Netto (2013) recomenda que a distância ideal para a instalação de um aterro sanitário do núcleo gerador seja de até 20 km. No entanto, esse autor ressalta a importância de priorizar áreas correspondentes entre 2 e 5 km de distância dos centros urbanos.

Locais muito distantes do centro urbano, representando mais de 35 km em linha reta, são inadequados para a instalação de aterro sanitário (**Figura 19**). Logo, atribuiu-se peso 0, descartando áreas muito distantes. Para as áreas com distância de até 500 metros a partir do perímetro urbano, também foi atribuído peso 0, o que indica áreas com grau restrição, conforme as orientações da NBR 13.896/1997.

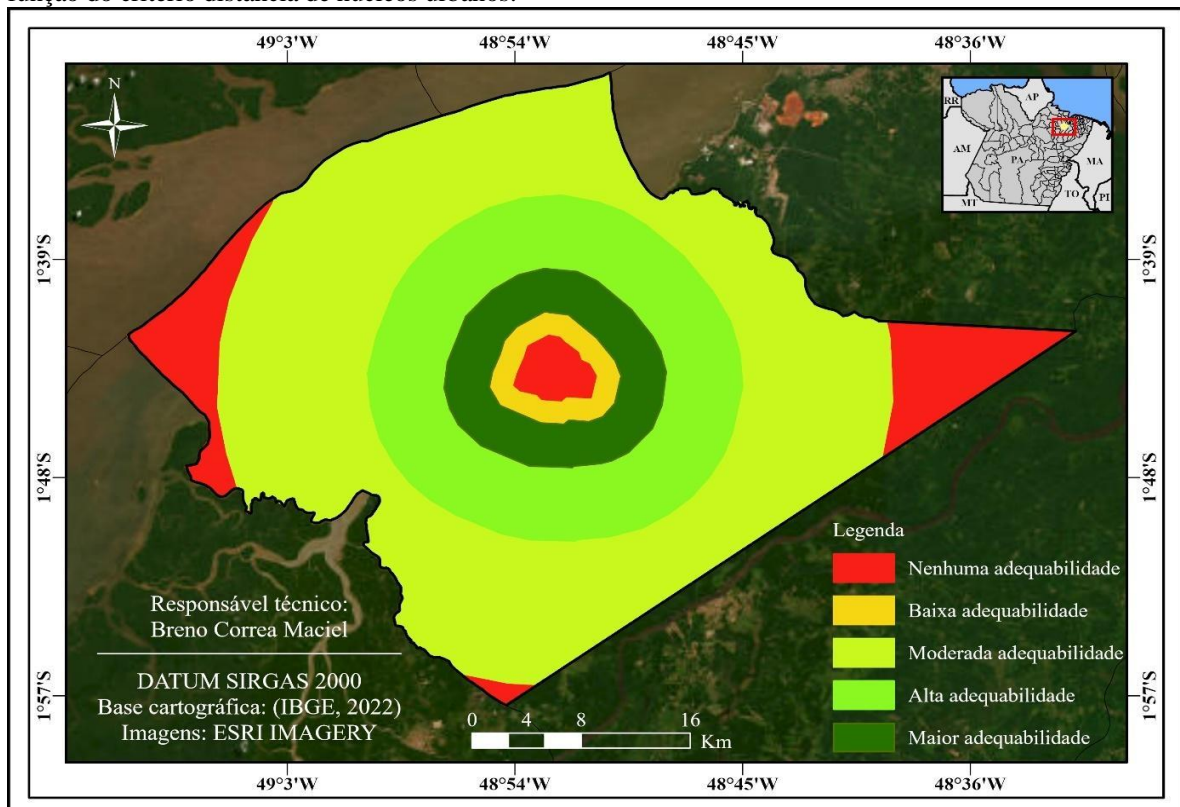
Apenas 7,92% da área do município de Abaetetuba apresenta maior adequabilidade, pois estão dentro do intervalo de 2 a 5 km (Neto e Areia, 2013), sendo as mais aptas para a instalação do aterro nesse enquadramento. Já as áreas com alta adequabilidade representam 22,93% da área municipal, isto é, 369,42 km² (Tabela 11; Figura 19). As áreas com nenhuma adequabilidade somam 159,73 km², pois estão distantes do centro gerador ou então no limite da distância de 500 metros conforme a NBR 13.896/1997. Quantos às demais áreas, estas estão classificadas em baixa e moderada adequabilidade, com áreas de 38,82 km² e 915,44 km², respectivamente.

Tabela 11 – Classes de adequabilidade para o critério Distância de Núcleos Urbanos.

Valor de adequabilidade	Classificação (m)	Área Km ²	%
0	d ≤ 500 e d > 20.000	159,73	9,92
0,4	500 - 2.000	38,82	2,42
0,6	10.000 - 20.000	915,44	56,80
0,8	5.000 - 10.000	369,42	22,93
1	2.000 - 5.000	127,74	7,93
Total		1.611,15	100,00

Fonte: Autor (2024).

Figura 19 – Mapa de adequabilidade para instalação de um aterro sanitário no município de Abaetetuba em função do critério distância de núcleos urbanos.



Elaboração: Autor (2024).

Weber e Hasenack (2000) e Schmidt (2017) ressaltam que um aterro muito distante do centro gerador de resíduos acarreta maiores custos associado à gestão e operação dessas instalações.

A disposição de RS em áreas mais distantes compromete a eficiência da coleta e do transporte dos resíduos sólidos, exigindo mais tempo e recursos para percorrer longas distâncias, aumentando os custos operacionais.

5.2.2 Distância de rodovias

Considerando as implicações paisagísticas associadas as áreas turísticas e habitacionais, para o critério rodovias, foram estabelecidos distância mínima de 200 metros, cujo objetivo é preservar as áreas de circulação do impacto visual do aterro (Weber; Hasenack, 2000). Paralelamente, foi estabelecida uma distância máxima de 1 km, visando maior eficiência operacional e de custo de transporte.

Conforme a **Tabela 12**, 1.448,76 km², representando 89,93% da área municipal, são áreas com nenhuma adequabilidade a instalação de aterro sanitário, pois apresentam distância inferior a 200 m ou superior a 1 km. As áreas com maior grau de adequabilidade totalizaram 32,21 km². Estas áreas são preferíveis à instalação de aterro devido à distância ideal das estradas. As áreas restantes apresentam diferentes níveis de adequabilidade: 49,53 km² (3,07%) são classificados como baixa adequabilidade; 31,92 km² (1,98%) são classificados como moderada adequabilidade; 48,73 km² (3,02%) são classificados como alta adequabilidade.

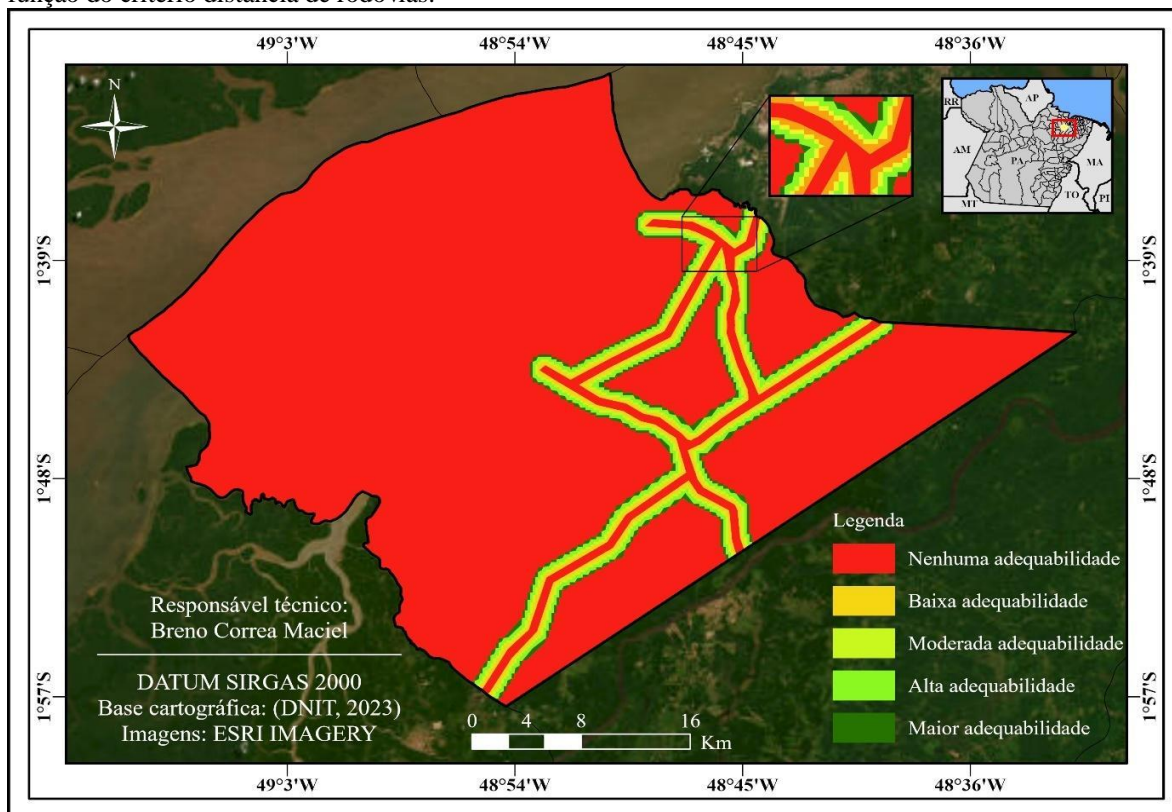
Tabela 12 – Classes de adequabilidade para o critério Distância de Núcleos.

Valor de adequabilidade	Classificação (m)	Área Km ²	%
0	d < 200 e d > 1.000	1.448,76	89,93
0,2	-	-	-
0,4	200 - 400	49,53	3,07
0,6	400 - 600	31,92	1,98
0,8	600 - 800	48,73	3,02
1	800 - 1.000	32,21	2,00
Total		1.611,15	100

Fonte: Autor (2024).

A **Figura 20** destaca o mapa de adequabilidade para o critério distância de rodovias.

Figura 20 – Mapa de adequabilidade para instalação de um aterro sanitário no município de Abaetetuba em função do critério distância de rodovias.



Elaboração: Autor (2024).

5.2.3 Distância de corpos hídricos

A **Tabela 13** agrupa as classificações de adequabilidade referente à distância de corpos hídricos. As áreas com nenhuma adequabilidade somam, aproximadamente, 721,81 km², o que equivale a 44,80% do território. Esta condição é atribuída à extensa presença de trechos de drenagem existente no município e usados pela população para fins de consumo e recreação. De acordo com as diretrizes estabelecidas pela NBR 13.896/97 e corroboradas por Schmidt (2017), Silva (2019) e Cardoso, Blanco, Friaes, (2022), tais áreas são consideradas inapropriadas para a implementação de um aterro sanitário, uma vez que a distância mínima de 200 metros não é atendida.

De Oliveira Neto (2011) disserta que um aterro nas proximidades de um corpo d'água pode causar impactos sobre o meio hídrico. Logo, foram atribuídos pesos significativos para as áreas mais distantes. A partir disso, apenas 61,81 km² das áreas correspondem a alta adequabilidade, enquanto 170,21 km² (10,56%) são áreas com maior adequabilidade. 140,34

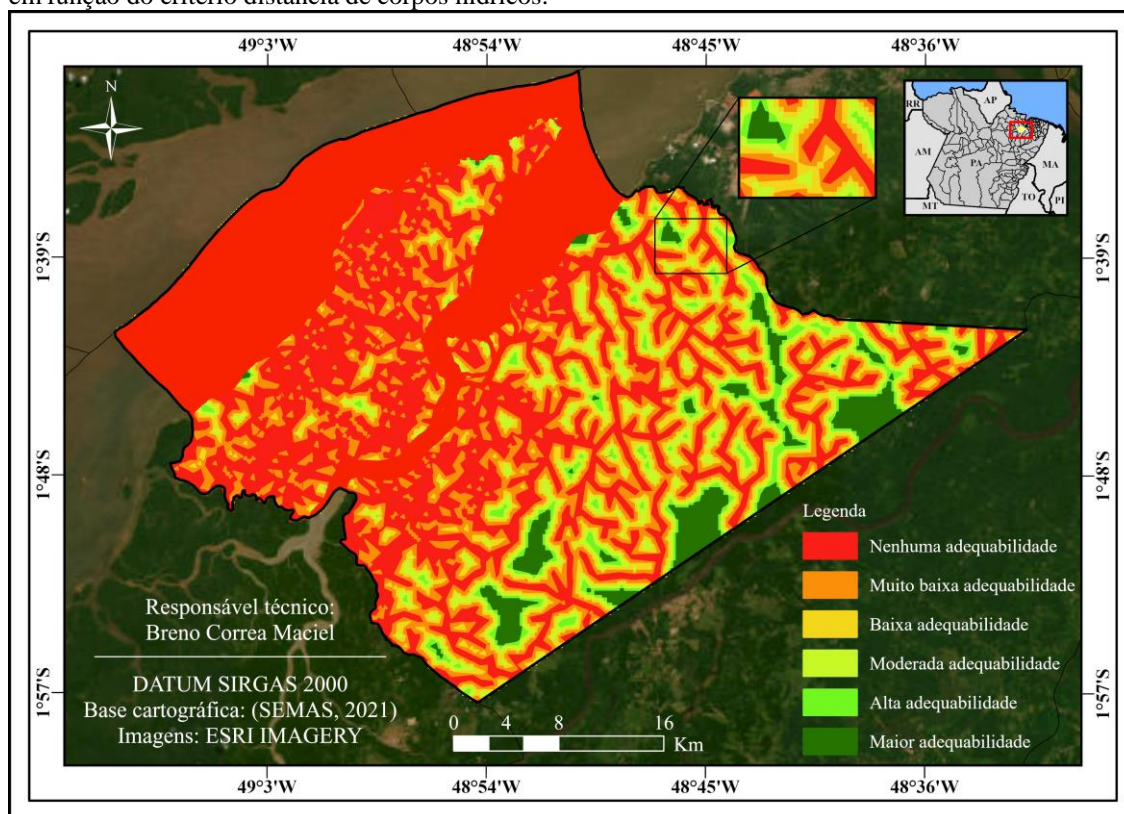
km² apresentam muito baixa adequabilidade, 149,35 km² baixa adequabilidade e 367,62 km² moderada adequabilidade. A **Figura 21** demonstra os resultados supracitados.

Tabela 13 – Classes de adequabilidade para o critério Distância dos corpos hídricos.

Valor de adequabilidade	Classificação (m)	Área Km ²	%
0	d < 200	721,81	44,80
0,2	200 - 400	367,62	22,82
0,4	400 - 600	149,35	9,27
0,6	600 - 800	140,34	8,71
0,8	800 - 1.000	61,81	3,84
1	d > 1.000	170,21	10,56
Total		1.611,15	100,00

Fonte: Autor (2024).

Figura 21 – Mapa de adequabilidade para instalação de um aterro sanitário no município de Abaetetuba em função do critério distância de corpos hídricos.



Elaboração: Autor (2024).

5.2.4 Declividade

Referente ao critério declividade, todas as áreas apresentam condições adequadas para a instalação de um aterro sanitário, conforme as regulamentações dadas pela NBR 13.896/97.

Portanto, destacam-se 842,11 km² como áreas de maior adequabilidade, seguidos por 684,34 km² classificados com alta adequabilidade, enquanto para as áreas de moderada e baixa adequabilidade, agrupadas, totalizam 84,70 km².

A **Tabela 14** detalha as áreas e percentuais de cada intervalo para o critério Declividade.

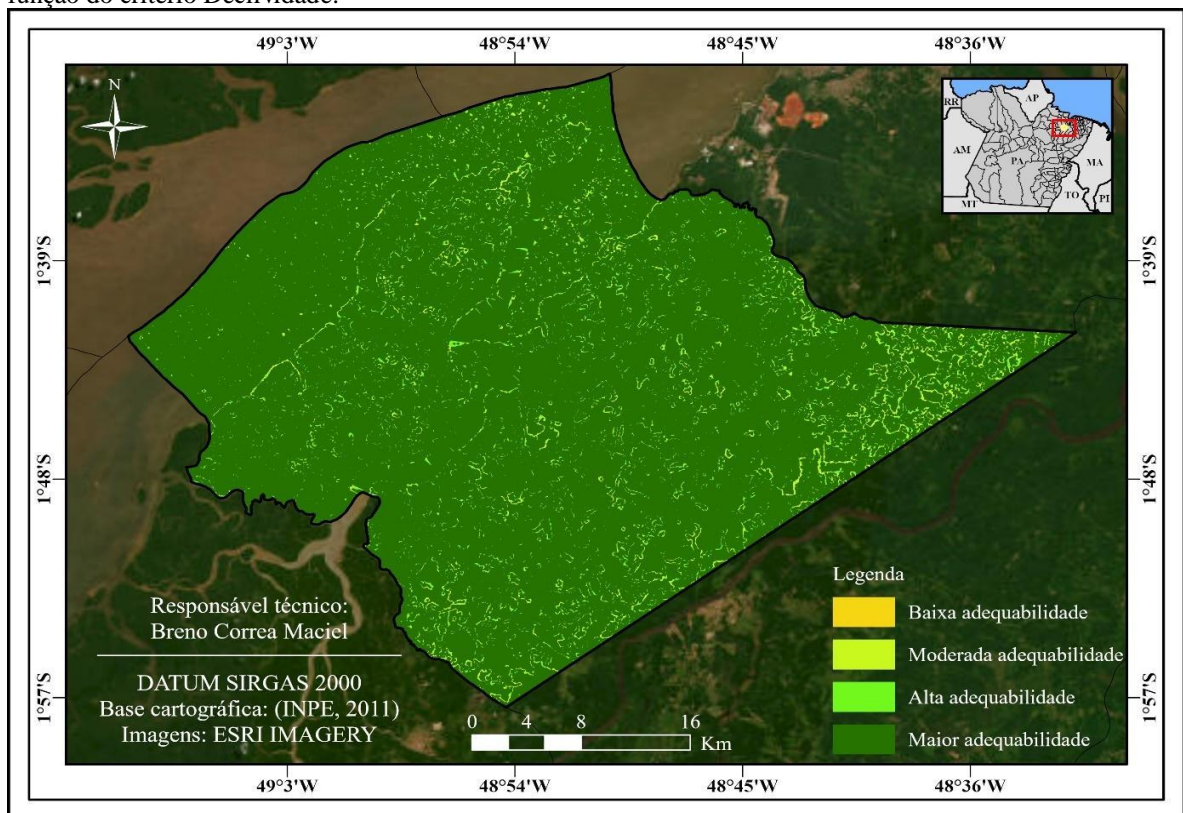
Tabela 14 – Classes de adequabilidade para o critério Declividade.

Valor de adequabilidade	Classificação (m)	Área Km ²	%
1	Relevo Plano (0 - 3%)	842,11	52,27
0,8	Relevo Suavemente Ondulado (3 - 8%)	684,34	42,48
0,6	Relevo Ondulado (8 - 20%)	83,36	5,17
0,4	Relevo Fortemente Ondulado (20 - 45%)	1,34	0,08
Total		1.611,15	100,00

Fonte: Autor (2024).

Na **Figura 22** é demonstrado o mapa de adequabilidade para o critério declividade.

Figura 22 – Mapa de adequabilidade para instalação de um aterro sanitário no município de Abaetetuba em função do critério Declividade.



Elaboração: Autor (2024).

5.2.5 Uso e cobertura da terra

As áreas sem nenhuma adequabilidade para a instalação de aterro sanitário totalizam 1.135,81 km², correspondendo a 70,50% do território em questão (**Tabela 15**). Esse cenário se justifica pela classificação do MapBiomias (2023) e, conforme respaldado por Neves e Almeida (2022), terras com índices de áreas alagadas, vegetação densa e áreas urbanizadas são categorizadas como inadequadas, atribuindo-se, portanto, pesos 0, contribuindo para a maior porcentagem de inadequabilidade.

No que tange às áreas com pesos 0,6 e 0,8, observa-se que elas se inserem nos níveis de moderada e alta adequabilidade, abrangendo uma extensão de 345,96 km² e 16,59 km², respectivamente.

Por outro lado, apenas 112,79 km² foram designados como áreas com maior adequabilidade, ficando com a segunda menor área. Essas áreas se caracterizam pela presença de pastagens, uma escolha que, conforme evidenciado por Moreita, Barberi e De Oliveira (2018) e Iglesias (2021) a escolha de áreas para a instalação do aterro sanitário é preferível em regiões que já sofreram intervenções antrópicas ou que dispensam a necessidade de intervenções nesse sentido.

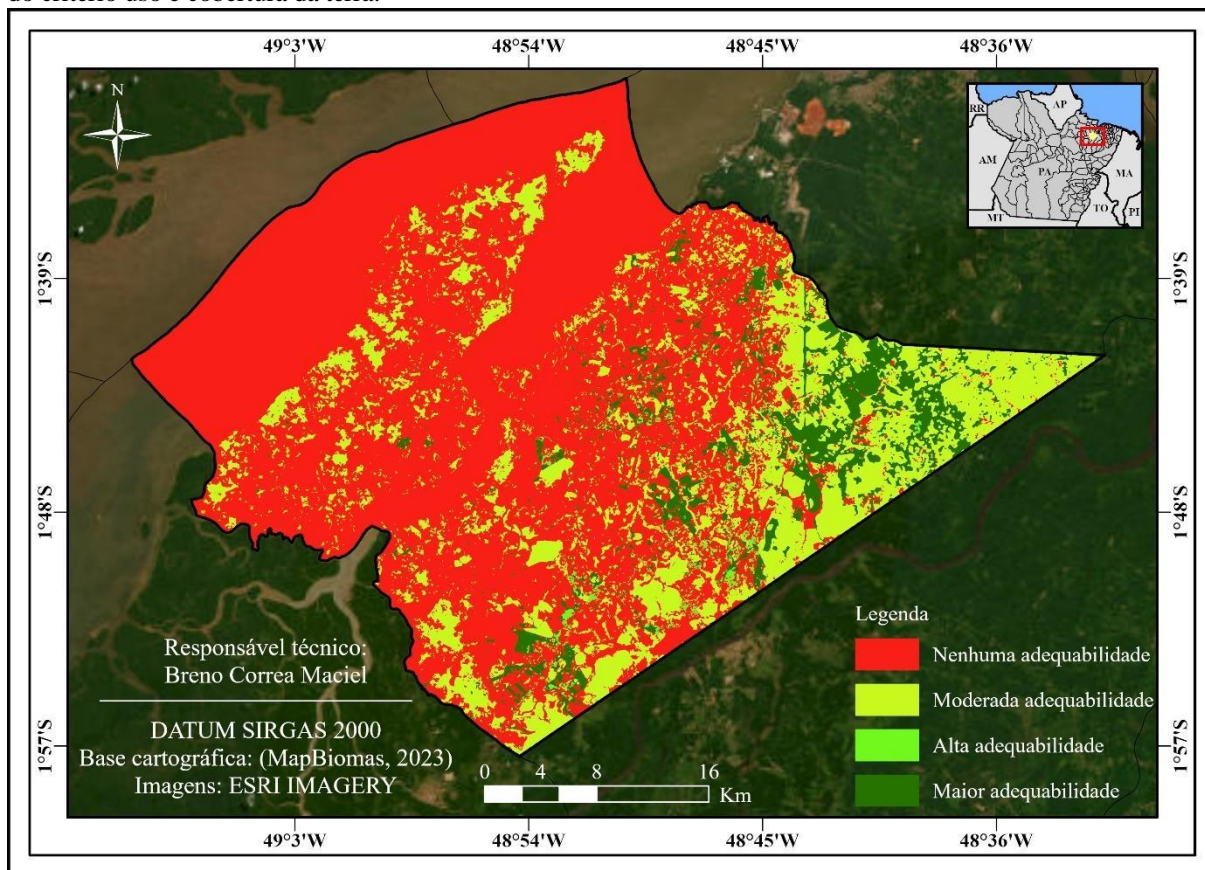
Tabela 15 – Classes de adequabilidade para o critério uso e cobertura da terra com suas respectivas quantidades de área e porcentagem.

Valor de aptidão	Classes	Área Km ²	%
0	Floresta Alagável (beta); Campo Alagado e Área Pantanosa; Áreas Urbanizadas; Mineração; Rio, Lago e Oceano.	1.135,81	70,50
0,6	Formação Floresta; Soja; Apicum; Dendê (Beta); Outras Lavouras Temporárias.	345,96	21,47
0,8	Formação Savânica; Formação Campestre; Silvicultura.	16,59	1,03
1	Pastagem.	112,79	7,00
Total		1.611,15	100,00

Fonte: Autor (2024).

A **Figura 23** resume os resultados apresentados no âmbito do uso e cobertura da terra.

Figura 23 – Mapa de adequabilidade para instalação de um aterro sanitário no município de Abaetetuba em função do critério uso e cobertura da terra.



Elaboração: Autor (2024).

A instalação de um aterro em área natural exige supressão vegetal, causando impactos direto sobre o habitat natural e a biodiversidade local. À vista disso, é essencial a elaboração de estudos ambientais mais robustos para o cumprimento das etapas do licenciamento ambiental, tais como levantamento, manejo e resgate de fauna e flora, Plano de Controle Ambiental (PCA), Relatório de Controle Ambiental (RCA), Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

Anjos *et al.* (2021) diserta que a área ideal para a instalação de um aterro sanitário seja um local já antropizado, causando menor impacto ao meio ambiente. Moreira *et al.* (2022), reitera que locais ocupados por agriculturas e pecuárias são os mais adequados para a instalação de aterro sanitário, devido a dispensa de supressão vegetal, porém, estas áreas apresentam elevado valor aquisitivo. No entanto, havendo a necessidade da supressão de vegetação, obrigatoriamente, deve-se solicitar a Autorização de Supressão de Vegetação (ASV) aos órgãos competentes.

5.2.6 Pedologia

A pedologia do município de Abaetetuba apresenta três classes dominantes, sendo o Gleissolo Háptico, Latossolo Amarelo e Espodossolo Ferri-Humilúvico (BDiA/IBGE, 2023). Segundo Born (2014), os solos impermeáveis são os mais adequados para projetos de aterros sanitários. O latossolo amarelo foi classificado como o mais adequado, recebendo peso máximo. Os resultados obtidos para esta classe correspondem a 776,89 km², equivalente a 48,22% do território (**Tabela 16**).

Quanto às demais classes de solos, esses foram determinados peso zero, pois consistem em áreas predominantemente arenosas e permeáveis, possivelmente devido à proximidade com regiões que apresentam corpos d'água. Portanto, ainda de acordo com a **Tabela 16**, os solos Gleissolo Háptico e Espodossolo Ferri-Humilúvico correspondem a uma área equivalente a 834,26 km².

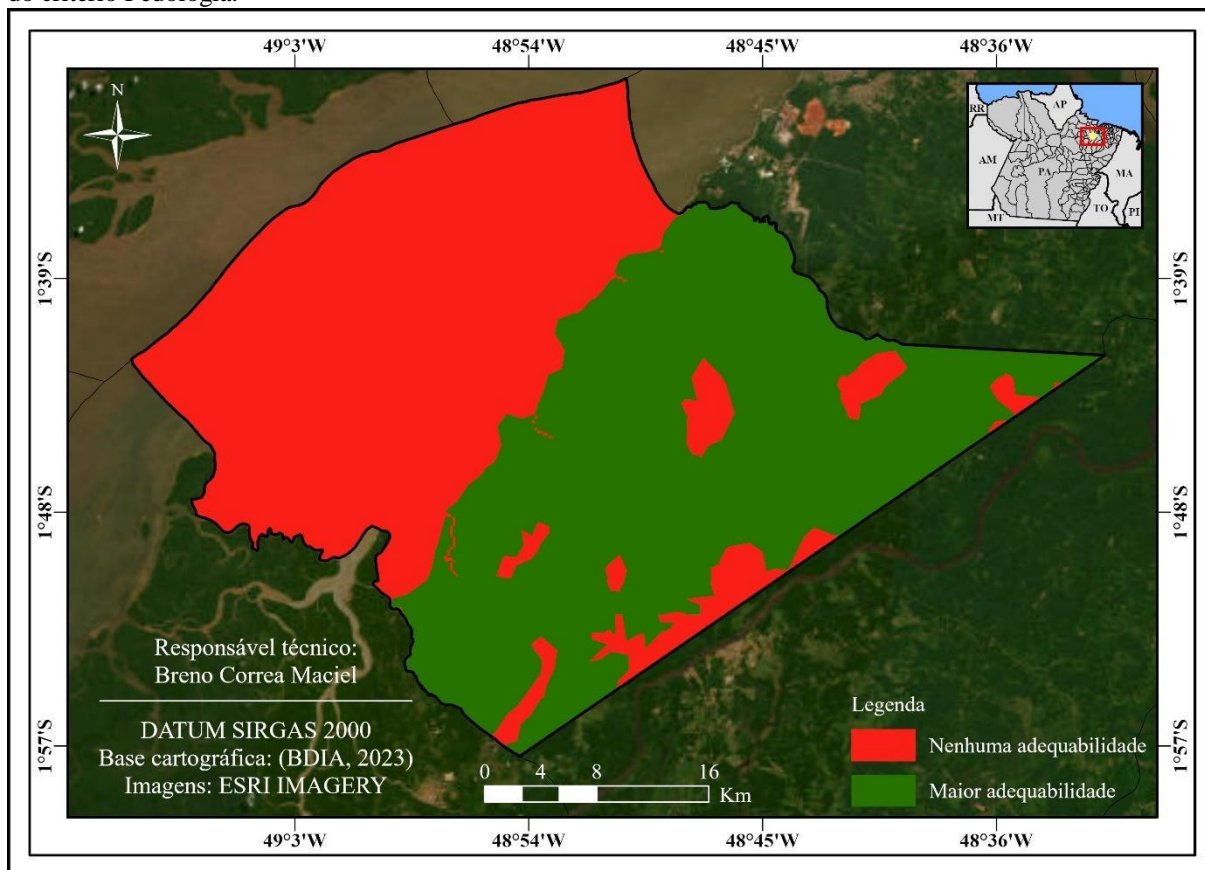
Tabela 16 – Classes de adequabilidade para o critério Pedologia.

Valor de adequabilidade	Classificação (m)	Área Km ²	%
0	Gleissolo Háptico e Espodossolo Ferri-Humilúvico	834,26	51,78
1	Latossolo Amarelo	776,89	48,22
Total		1.611,15	100,00

Fonte: Autor (2024).

Dessa forma, é possível identificar na **Figura 24** que as regiões categorizadas em vermelho, são classificadas com nenhuma adequabilidade, principalmente por estarem em sua maior parte localizadas em áreas insulares ou próximo a corpos d'água.

Figura 24 – Mapa de adequabilidade para instalação de um aterro sanitário no município de Abaetetuba em função do critério Pedologia.



Elaboração: Autor (2024).

5.2.7 Geologia

A geologia do município de Abaetetuba apresenta quatro classes predominantes: depósitos aluvionares holocênicos, cobertura sedimentar do baixo Tocantins, cobertura detrito-laterítica e barreiras (**Tabela 17; Figura 25**).

Os depósitos aluvionares holocênicos abrangem mais da metade do território de Abaetetuba, totalizando cerca de 825,05 km². Para essa classe, foi atribuído peso 0, ou seja, são áreas sem nenhuma adequabilidade, considerando sua localização próxima a rios e áreas propensas a inundações (Silva, 2014). Essa escolha reflete o risco significativo que essa formação geológica representa para a instalação e operação de um aterro sanitário pelo fato de Abaetetuba ter uma extensa área insular. Ademais, a cobertura sedimentar do baixo Tocantins ocupa a menor porção em área territorial, sendo 71,84 km², com peso igual 0,2.

Já a cobertura detrito-laterítica apresentou área equivalente a 630,04 km² – equivalente a 39,10% – está classe é consideravelmente ideal para a instalação de aterro sanitário devido a capacidade no controle de infiltração.

Na classe Barreiras foram observados 84,22 km² de áreas. Este tipo de geologia foi considerado a mais apta a instalação de aterro sanitário devido sua capacidade de impedir a infiltração de contaminantes no solo.

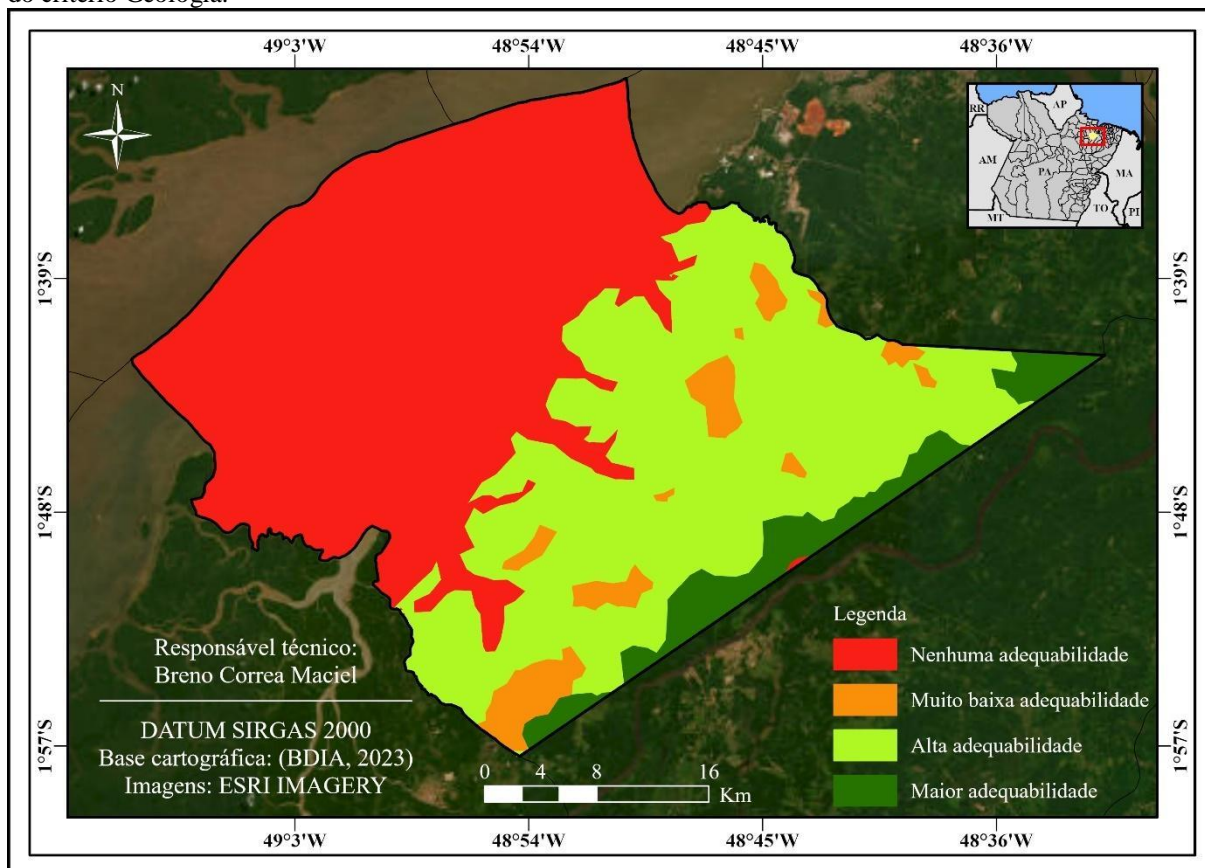
Tabela 17 – Classes de adequabilidade para o critério Geologia com suas respectivas quantidades de área e porcentagem.

Valor de adequabilidade	Classificação (m)	Área Km ²	%
0	Depósitos aluvionares holocênicos	825,05	51,21
0,2	Cobertura Sedimentar do baixo Tocantins	71,84	4,46
0,8	Cobertura Detrito-Laterítica	630,04	39,10
1	Barreiras	84,22	5,23
Total		1.611,15	100,00

Fonte: Autor (2024).

A **Figura 25** resume os resultados apresentados no âmbito geológico.

Figura 25 – Mapa de adequabilidade para instalação de um aterro sanitário no município de Abaetetuba em função do critério Geologia.



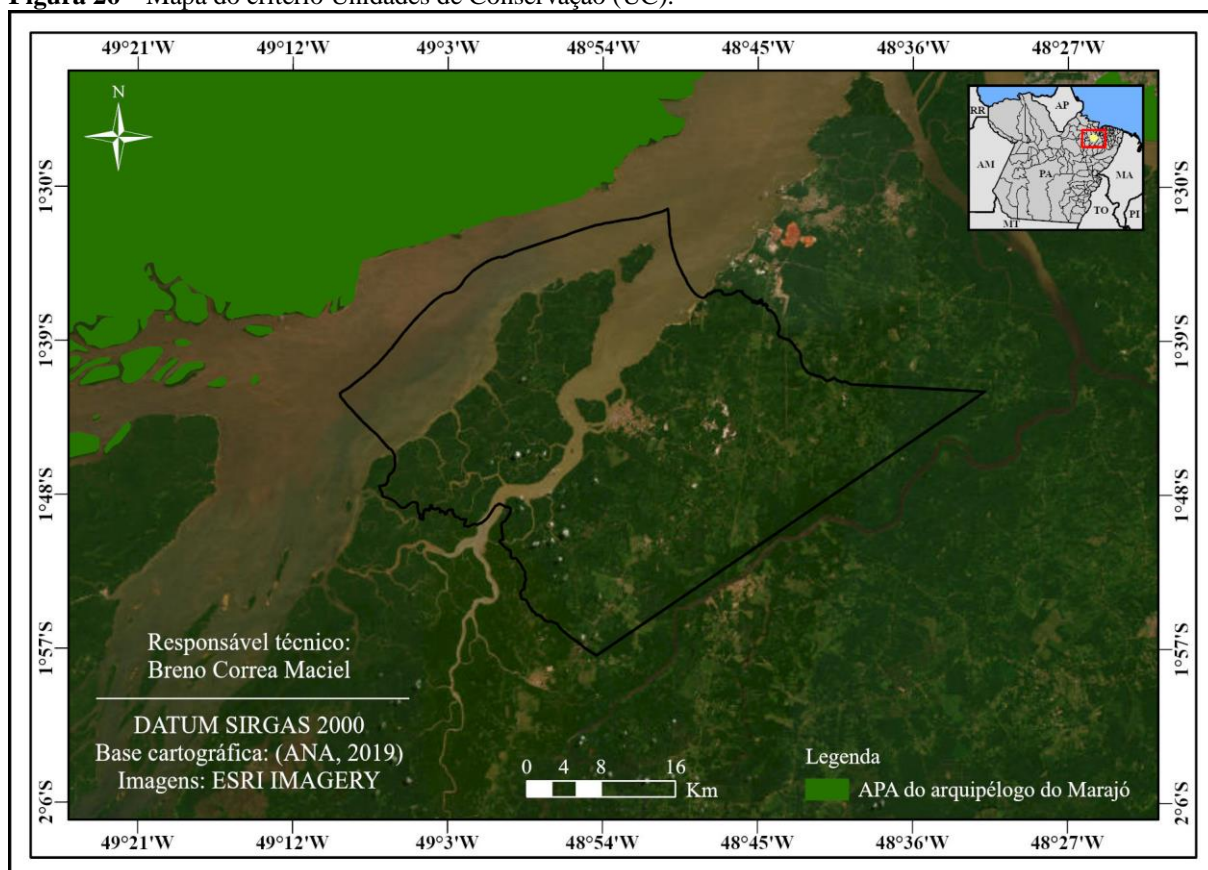
Elaboração: Autor (2024).

5.2.8 Unidades de Conservação

De acordo com a **Figura 26**, nenhuma Unidade de Conservação (UC) foi encontrada dentro do território analisado, o que levou à sua exclusão da álgebra de mapas. Ao analisar as áreas de conservação próximas, constatou-se que a UC com georreferenciamento mais próxima é a APA do Arquipélago do Marajó, localizada a cerca de 2.570 km do município estudado.

Apesar de evidências sugerirem a existência de UC em Abaetetuba, os registros oficiais não as incluem. Assim, o mapa gerado apresenta apenas as UC com informações de localização confirmadas, mostrando uma diferença entre o conhecimento local e os dados oficiais. Essa inconsistência destaca a necessidade de revisar e atualizar os cadastros oficiais para alinhar melhor as informações locais com os dados formais, apoiando, dessa forma, políticas e ações de conservação mais eficazes na região.

Figura 26 – Mapa do critério Unidades de Conservação (UC).



Elaboração: Autor (2024).

5.3 Comparação ponderada dos fatores

Após a aplicação da lógica *Fuzzy* para cada critério, foi possível a utilização do método AHP para estruturar a análise. A elaboração da matriz de comparação par a par é um dos passos cruciais para a validação do método AHP (Andrade; Barbosa, 2015). Com isso, a matriz foi desenvolvida com a participação do autor e de profissionais especializados na área (Engenheiros sanitaristas e ambiental, Engenheiro Civil, Geólogos e Especialista em Gerenciamento de Resíduos Sólidos), garantindo uma abordagem robusta e fundamentada na expertise técnica necessária para a validação do método. Essa colaboração permitiu a criação da matriz final de comparação pareada dos sete fatores selecionados conforme ilustrado no **Quadro 11**, proporcionando uma base sólida para a análise comparativa e a tomada de decisões estratégicas embasadas em critérios bem definidos e ponderados.

Quadro 11 – Matriz comparativa entre os critérios.

Critérios	A	B	C	D	E	F	G
Distância de Núcleo Urbano (A)	1	3	5	3	2	2	4
Distância de Corpos Hídricos (B)	1/3	1	3	2	1	1	3
Distância de Rodovias (C)	1/5	1/3	1	1/3	1/2	1/2	2
Uso e cobertura da Terra (D)	1/3	1/2	3	1	2	2	4
Pedologia (E)	1/2	1	2	1/2	1	1	3
Geologia (F)	1/2	1	2	1/2	1	1	3
Declividade (G)	1/4	1/3	1/2	1/4	1/3	1/3	1

Fonte: Autor (2024).

Após a conclusão do quadro de comparação par a par, procedeu-se à normatização da matriz AHP para padronizar os valores, a fim de calcular os pesos para cada critério adotado. Para Born (2014), a precisão na elaboração da matriz de comparação é crucial, uma vez que os pesos resultantes refletem a influência de cada critério na identificação e elaboração do mapa com as áreas mais adequadas para a instalação do aterro sanitário.

Na **Tabela 18** são apresentadas as porcentagens de influência de cada critério. Também foi realizada a validação da Razão de Consistência (RC) para assegurar a confiabilidade dos julgamentos da matriz AHP. De início, calculou-se o Índice de Consistência (IC), que resultou em um valor de 0,054. O Índice Randômico (IR), por sua vez, foi obtido tomando por base a escala definida por Saaty (1991), que leva em consideração o número de critérios empregados

a cada estudo, neste caso como foram considerados sete critérios, logo, o IR foi de 1,32. Já a Razão de Consistência (RC) foi calculada partindo da divisão do IC pelo IR resultando em um valor de 0,04, logo, por este valor ser inferior a 0,1, conforme definido por Saaty (1991), garante, assim coerência e confiabilidade dos autovalores utilizados na matriz AHP.

Tabela 18 – Pesos atribuído aos critérios.

Fatores	Pesos
Distância de núcleos urbanos	29%
Uso e cobertura da terra	18%
Distância de corpos hídricos	16%
Pedologia	13%
Geologia	13%
Distância de rodovias	7%
Declividade	4%
Total	100%

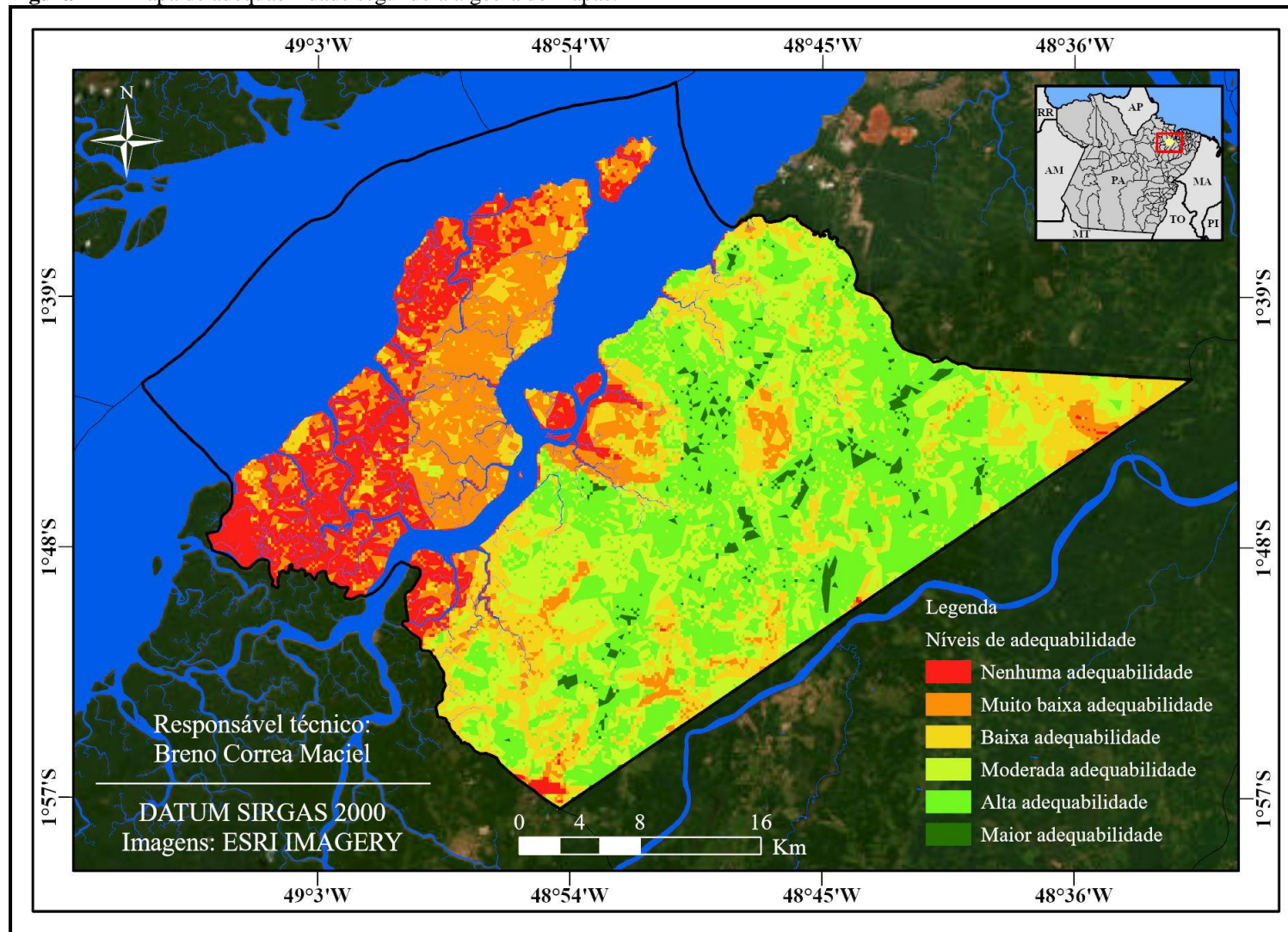
Fonte: Autor (2024).

Observa-se que a Distância de núcleos urbanos foi o critério que recebeu maior peso (29%) comparado aos demais, seguido do Uso e cobertura da terra (18%), Distância de corpos hídricos (16%), Pedologia e Geologia (13%), ambos com a mesma porcentagem. Já a Distância de rodovias (7%) e Declividade (4%) foram os critérios que receberam menor peso.

5.4 Agregação dos fatores de restrição (Álgebra de mapas)

Utilizando os *softwares ArcGIS 10.5, ArcGIS Pro*, juntamente com a ferramenta *Raster Calculator*, gerou-se o mapa final. Este mapa foi obtido ao multiplicar os percentuais de cada critério, antes calculados na matriz AHP por seus respectivos mapas *fuzzy* e somá-los. O resultado foi o mapa final dos níveis de adequabilidade para a instalação do aterro sanitário, apresentado na **Figura 27**.

Figura 27 – Mapa de adequabilidade segundo a álgebra de mapas.



$A = [(Distância_de_núcleos_urbanos * 0,29) + (Uso_e_cobertura_da_terra * 0,18) + (Distância_de_corpos_hídricos * 0,16) + (Pedologia * 0,13) + (Geologia * 0,13) + (Distância_de_rodovias * 0,07) + (Declividade * 0,04)]$. **Elaboração:** Autor (2024).

A classificação de adequabilidade varia de nenhuma a maior adequabilidade.

O resultado apontou que as classes de nenhuma (0), muito baixa (0,2) e baixa adequabilidade (0,4) tiveram uma representatividade de 60,84% - equivalente a 980,23 km² - ou seja, mais da metade da área total do município são inadequadas a instalação do aterro, sendo assim, serão excluídas. Já as classes moderadas (0,6) e de alta adequabilidade (0,8), somam 37,7% - representando 507,41km² - estas apresentam menor adequabilidade para instalar um aterro conforme descrito na metodologia e em conformidade com normas e legislações vigentes.

A classe de maior adequabilidade (1) representa apenas 1,46% - 23,51 km² - da área total, é considerada ideal para a validação do estudo. Destaca-se a importância que as áreas com maior adequabilidade estão localizadas nas regiões Leste, Sul e em parte do Norte do perímetro urbano de Abaetetuba. Essas áreas são ideais para a instalação do aterro, uma vez que o Oeste do município é composto predominantemente por áreas insulares e percebe-se que nesta região não a presença de áreas classificadas com maior adequabilidade.

A **Tabela 19** resume os resultados apresentados.

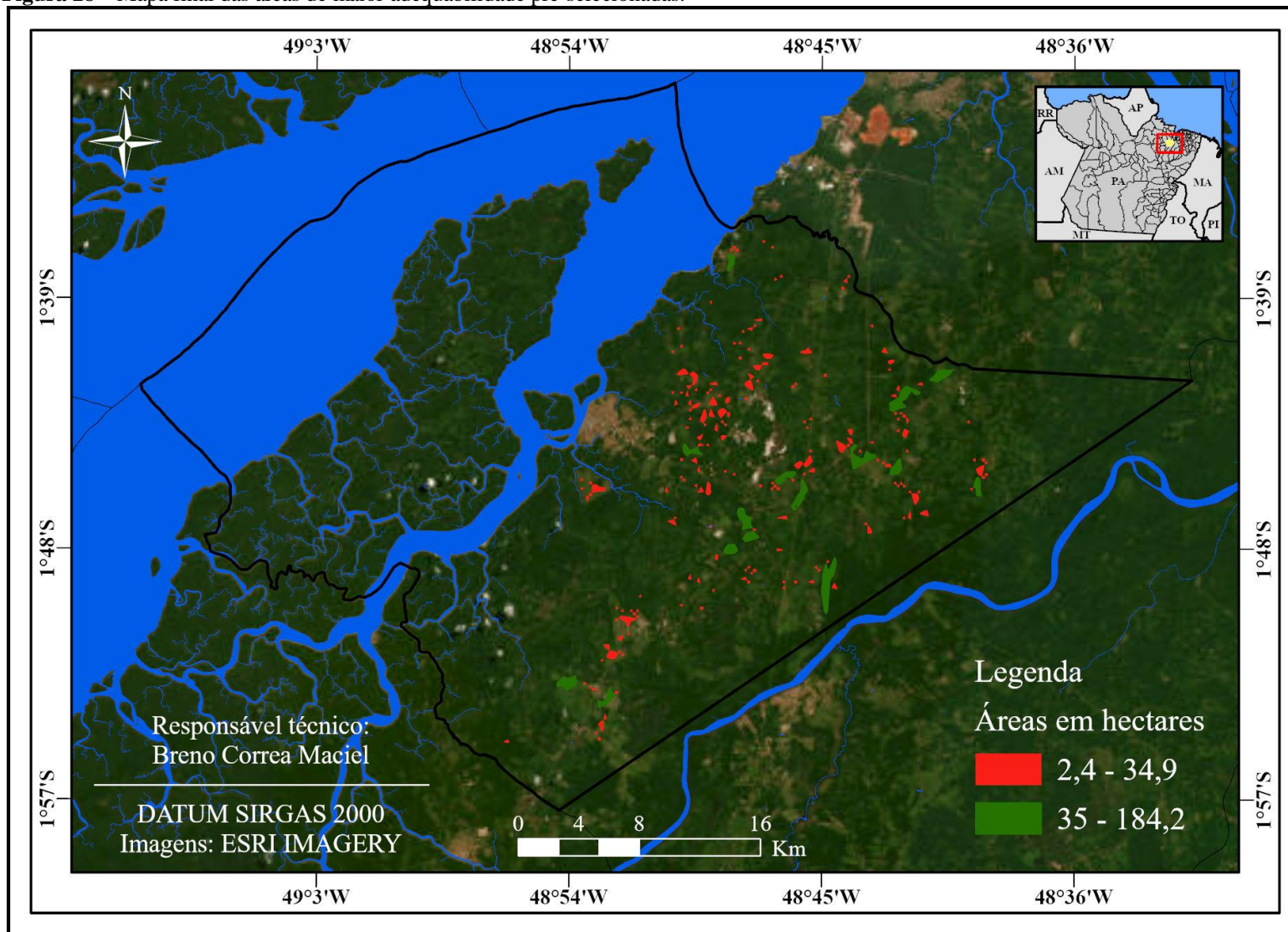
Tabela 19 – Classes de adequabilidade com suas respectivas áreas de abrangência e percentuais.

Nível de adequabilidade das áreas	Áreas (ha)	Áreas (km ²)	%
Nenhuma adequabilidade	57.485	574,85	35,68
Muito baixa adequabilidade	19.497	194,97	12,10
Baixa adequabilidade	21.401	210,41	13,06
Moderada adequabilidade	25.503	255,03	15,83
Alta adequabilidade	32.538	352,38	21,87
Maior adequabilidade	2.351	23,51	1,46
Total	161.155	1.611,15	100

Fonte: Autor (2024).

A fim de reduzir o número excessivo de áreas, foram eliminadas as classes que variam de 0 a 0,8, por apresentarem maiores limitações que impede a instalação do aterro, deixando apenas as áreas de maior adequabilidade (1) (**Figura 28**), conforme descrito nos procedimentos metodológicos.

Figura 28 – Mapa final das áreas de maior adequabilidade pré-selecionadas.

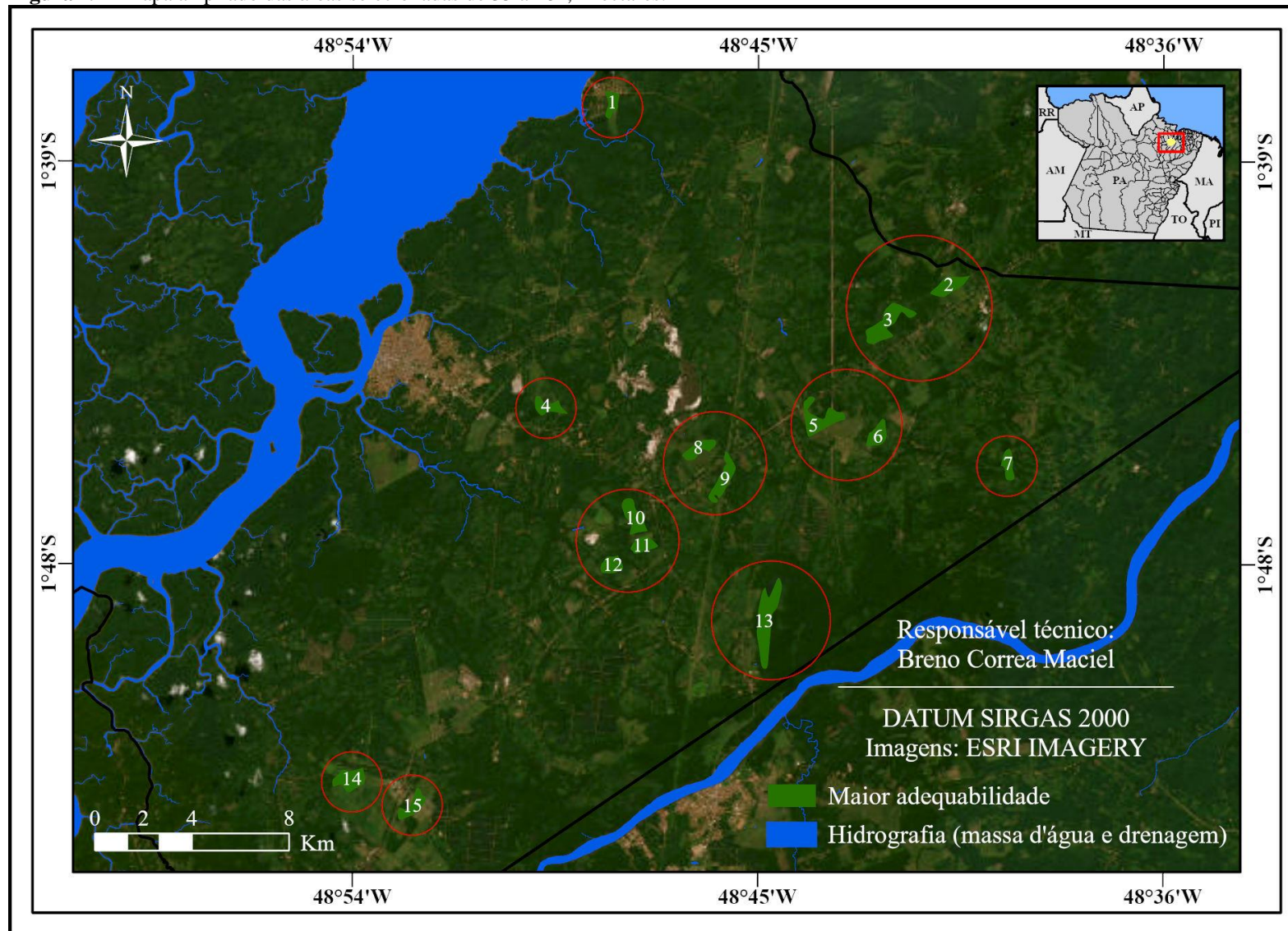


Elaboração: Autor (2024).

Observa-se a quantidade de 205 áreas com classes de alta adequabilidade, totalizando 2.351,13 hectares. No entanto, observou-se um número excessivo de áreas pequenas que não são apropriadas para a instalação do aterro sanitário, mesmo seguindo as recomendações da AHP. Priorizam-se áreas mais amplas para a melhor disposição das células de RS, assim como deve-se atender a instalação de Estação de Tratamento de Efluente (ETE), a instalação de maquinários e a circulação de transportes para a disposição dos RS.

Carvalho (2017) disserta que a eliminação de algumas alternativas é importante para melhorar os resultados com o método aplicado, uma vez que apresentam limitações, sendo o número excessivo de alternativas uma delas. A fim de otimizar a seleção, as áreas menores foram excluídas, mantendo apenas aquelas com 35 hectares ou mais. Após essa filtração, restaram 15 áreas para avaliação, como ilustrado na **Figura 29**.

Figura 29 – Mapa ampliado das áreas selecionadas de 35 a 184,2 hectares.



Elaboração: Autor (2024).

As áreas enumeradas na **Figura 29** apresentam dimensões superiores a 35 hectares, e na **Tabela 20**, foram dispostas as áreas e suas respectivas dimensões.

Tabela 20 – Pesos atribuído aos critérios.

Áreas selecionadas	Dimensões (ha)	Coordenadas
Área 1	42,19	1°37'40" S - 48°48'13" W
Área 2	73,67	1°41'47" S - 48°40'48" W
Área 3	133,74	1°42'37" S - 48°42'10" W
Área 4	52,66	1°44'31" S - 48°49'41" W
Área 5	115,87	1°44'50" S - 48°43'41" W
Área 6	58,05	1°45'08" S - 48°42'19" W
Área 7	46,45	1°45'48" S - 48°39'25" W
Área 8	57,23	1°45'26" S - 48°46'21" W
Área 9	86,27	1°46'03" S - 48°45'44" W
Área 10	86,40	1°46'57" S - 48°47'44" W
Área 11	50,89	1°47'35" S - 48°47'32" W
Área 12	51,58	1°48'02" S - 48°48'15" W
Área 13	184,20	1°49'15" S - 48°44'51" W
Área 14	86,90	1°52'50" S - 48°54'03" W
Área 15	61,05	1°53'26" S - 48°52'37" W

Fonte: Autor (2024).

A partir dos mapas das áreas pré-selecionadas (**Figura 30**, **Figura 31** e **Figura 32**) foi possível identificar com mais precisão as áreas mais favoráveis para a instalação de aterro sanitário no município de Abaetetuba. Para os critérios pedologia, geologia e declividade todas as áreas pré-selecionadas apresentaram de alto e maior adequabilidade para estes critérios.

A primeira área identificada (**Figura 30 A**) está localizada na Vila de Beja, a 14 km do centro gerador. Embora a área seja considerada adequada para a instalação do aterro conforme resultado da AHP, há limitações que impedem a sua implementação devido à proximidade com o perímetro da Vila e com a via principal que dá acesso ao centro urbano do município.

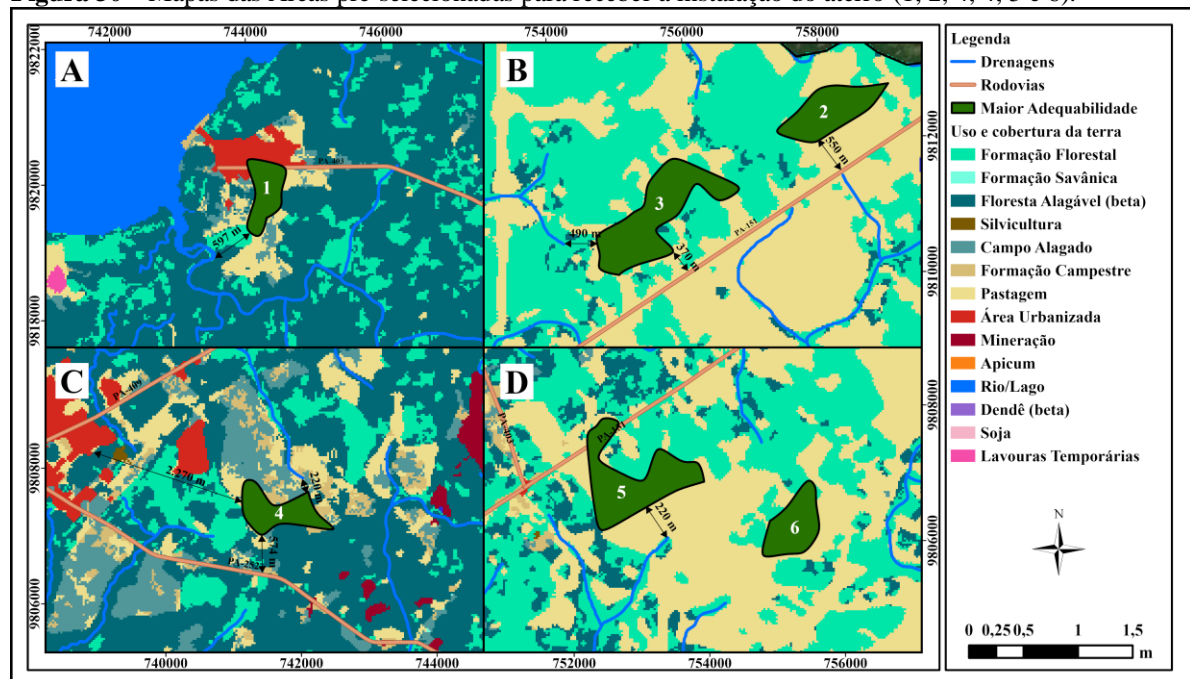
Para as áreas 2 e 3 (**Figura 30 B**), é notável que ambas são adequadas tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. De acordo com a metodologia, essas áreas estão localizadas a 550 e 370 metros da PA-151, o que garante fácil acesso e integração com as vias principais. Além disso, ambas as áreas estão situadas a 490 metros de corpos hídricos, minimizando riscos de contaminação e preservando a qualidade da água. Já em relação ao uso e ocupação da terra, verificou-se que mais de 90% das áreas pré-selecionadas são ocupadas por pastagens, o que

reduz impactos sobre o uso da terra e facilita a integração com o entorno (Dutra *et al.*, 2019; Aguiar *et al.*, 2022; Bruna *et al.*, 2024).

A área 4 (**Figura 30 C**), por sua vez, apresentou limitações significativas para a instalação de um aterro sanitário. Em relação aos corpos hídricos, foi constatado que a área está situada a apenas 220 metros do sistema de drenagem, o que a torna inviável para a instalação, a fim de evitar possíveis contaminações. Além disso, a proximidade com o Residencial Chico Narrina torna a área menos adequada, uma vez que o fator vento deve ser levado em consideração, logo, a instalação do aterro nesta localização é pouco recomendável.

As áreas 5 e 6 (**Figura 30 D**) também apresentaram limitações a instalação de aterro sanitário. Para a área 5, verificou-se que parte de sua área corta a PA-151, além de estar próximo a trechos de drenagens. A área 6, encontra-se a mais de 2,4 km da via principal, o que exigiria a construção de uma nova estrada para garantir acesso adequado. No entanto, constatou-se que ambas estão em áreas de pastagem.

Figura 30 – Mapas das Áreas pré-selecionadas para receber a instalação do aterro (1, 2, 4, 4, 5 e 6).



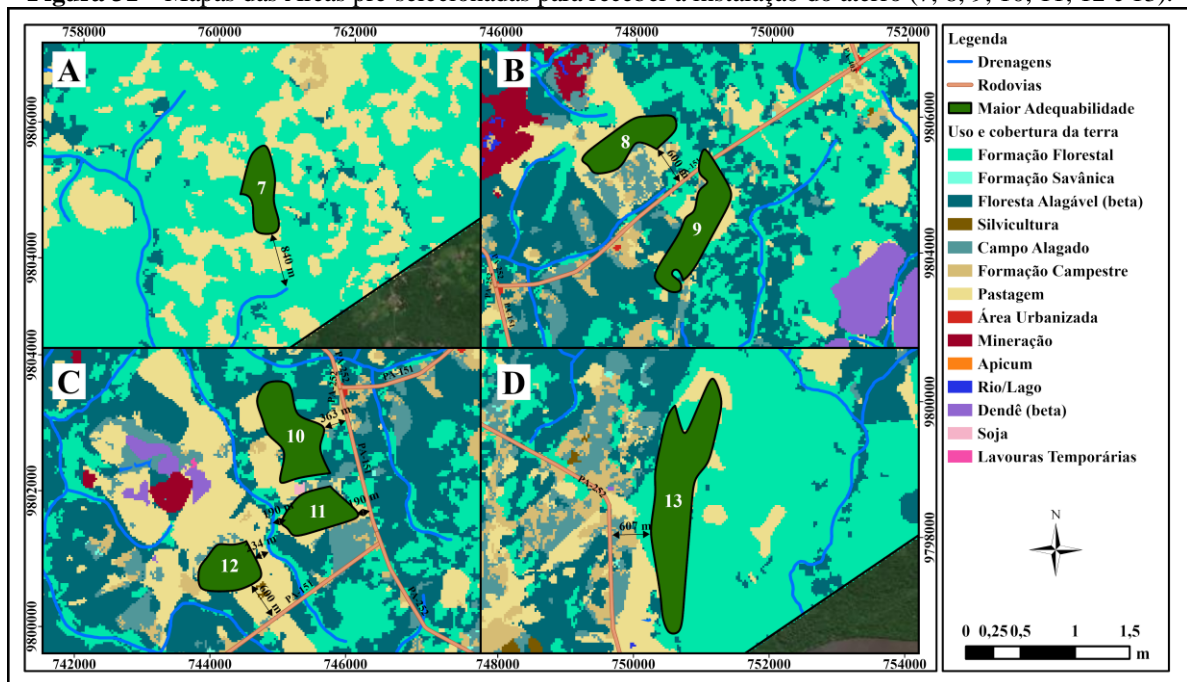
Elaboração: Autor (2024).

Na **Figura 31 A**, é notável a área 7, que apresentou limitações significativas em termos de logística. A área apresentou-se como a mais distante do perímetro urbano, localizada a 23 km em linha reta. Foi constatada a ausência de rodovias primárias e secundárias, o que compromete o acesso e o transporte dos resíduos. Apesar de atender aos demais critérios e ser

classificado como de maior adequabilidade, a distância e a falta de infraestrutura viária tornam a área 7 inviável para a instalação de um aterro sanitário (Weber; Hasenack 2000).

Para as áreas 8, 9, 10, 11, 12 e 13 (Figura 31 B, Figura 31 C e Figura 31 D), observou-se uma maior proximidade com as vias (PA -151/152), facilitando o acesso e o transporte dos resíduos ao aterro. Para o critério de uso e cobertura da terra foi atendido adequadamente, já que essas áreas são predominantemente ocupadas por pastagens, o que é ideal de acordo com a metodologia utilizada. No entanto, foi identificada a presença de trechos de drenagem nas proximidades, o que pode representar uma preocupação para a instalação do aterro sanitário.

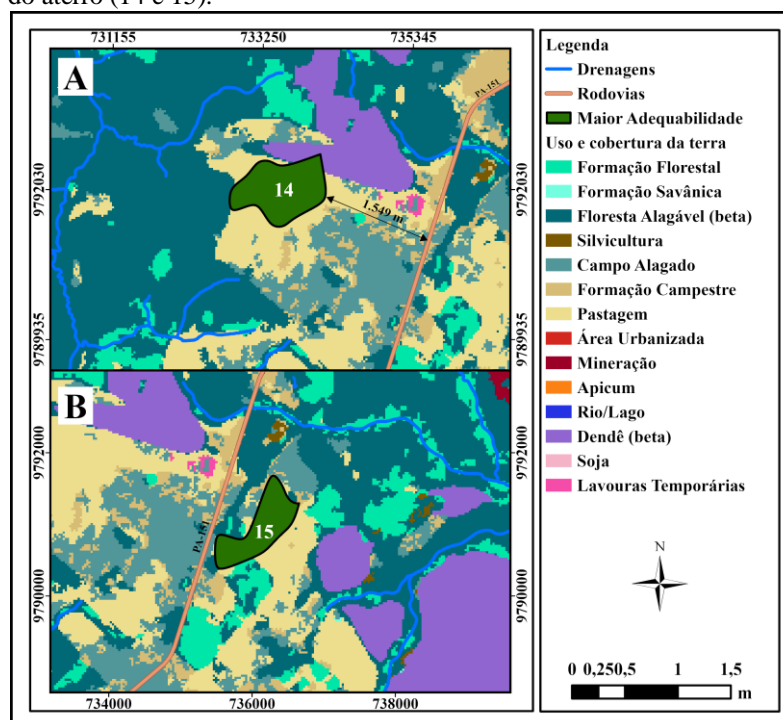
Figura 31 – Mapas das Áreas pré-selecionadas para receber a instalação do aterro (7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13).



Elaboração: Autor (2024).

No que tange às 14 e 15 (Figura 32 A e B), ambas atenderam a todos os critérios estabelecidos, tornando-as mais adequadas para a instalação de um aterro sanitário. No que diz respeito à drenagem, foi observada uma distância mínima de 1,1 km, o que está em conformidade com a metodologia recomendada.

Figura 32 – Mapas das Áreas pré-selecionadas para receber a instalação do aterro (14 e 15).



Elaboração: Autor (2024).

Embora as áreas 14 e 15 sejam as mais adequadas para a instalação de aterro sanitário de acordo com a avaliação da AHP e dos critérios usados, é de suma importância pré-dimensionar a área mínima necessária, a fim de saber se as áreas escolhidas serão atendidas.

5.5 Pré-dimensionamento da área necessária a instalação do aterro sanitário

- **Projeção Populacional**

De acordo com a metodologia, as projeções populacionais foram feitas de 2025 a 2044 (20 anos de vida útil). Para esta avaliação foi necessário estimar o número de habitantes de 2010 a 2022, com base nos dados do último censo do IBGE.

Portanto, a estimativa populacional para o município de Abaetetuba apresentou resultados satisfatórios, haja vista que não houve grandes discrepância no decorrer dos anos, conforme estudos também realizados por Melo (2022), Dos Santos (2020) e Moreira *et al.* (2022).

Observou-se que para o ano de 2044 a população está estimada em 195.187 habitantes, conforme demonstrado no **Quadro 12**.

Quadro 12 – Estimativas populacionais.

Ano	População (hab.)	Ano	População (hab.)
2025	162.787	2035	179.106
2026	164.350	2036	180.826
2027	165.928	2037	182.561
2028	167.520	2038	184.314
2029	169.128	2039	186.083
2030	170.752	2040	187.869
2031	172.391	2041	189.673
2032	174.046	2042	191.493
2033	175.717	2043	193.332
2034	177.403	2044	195.187

Fonte: Autor (2024).

- **Massa dos RS e volume do aterro**

Para o município de Abaetetuba, a previsão da geração diária de resíduos sólidos urbanos a serem dispostos no aterro sanitário a uma vida útil de 20 anos é de 190,46 toneladas por dia em 2025, com um aumento estimado para 228,36 toneladas por dia em 2044. Esses resultados foram possíveis por meio da estimativa populacional para cada ano, bem como a geração *per capita* de 1,17 kg por habitante por dia, conforme indicado no PEGIRS (2014).

A geração anual de resíduos sólidos, calculada pelo somatório das massas ao longo de 20 anos, atingiu um total de 1.524.768 toneladas. No **Quadro 13**, são apresentadas as estimativas diária e anual de RSU.

Quadro 13 – Estimativa da geração de RSU para o município de Abaetetuba (2025 a 2044).

Ano	População (hab.)	Geração Diária de RSU (ton./dia)	Geração Anual de RSU (ton./ano)
2025	162.787	190,46	69.518,32
2026	164.350	192,28	70.185,64
2027	165.928	194,13	70.859,37
2028	167.520	195,99	71.539,57
2029	169.128	197,88	72.226,29
2030	170.752	199,78	72.919,61
2031	172.391	201,69	73.619,58
2032	174.046	203,63	74.326,27
2033	175.717	205,58	75.039,75
2034	177.403	207,56	75.760,07
2035	179.106	209,55	76.487,31

2036	180.826	211,56	77.221,53
2037	182.561	213,59	77.962,79
2038	184.314	215,64	78.711,18
2039	186.083	217,71	79.466,74
2040	187.869	219,80	80.229,56
2041	189.673	221,91	80.999,71
2042	191.493	224,04	81.777,24
2043	193.332	226,19	82.562,24
2044	195.187	228,36	83.354,77

Fonte: Autor.

- **Área necessária para a instalação do AS**

A área necessária para o projeto de um AS foi definida conforme estabelecido nas diretrizes fornecida pelo Ministério das Cidades, que relaciona o número de habitantes estimada com a área mínima exigida. Com uma população estimada em 195.187 habitantes para 2044, a área recomenda 35 hectares, indicada para as populações de 150.001 a 250.000 habitantes.

5.6 Identificação das áreas prioritárias para a instalação de aterro sanitário

Com tamanho equivalente a 86,90 e 61,05 hectares para as áreas 14 e 15, pode-se afirmar que ambas as áreas apresentaram tamanhos necessários para a instalação de aterro sanitário conforme o pré-dimensionamento no subtópico anterior, isso foi visto, uma vez que a área necessária calculada foi de 35 hectares (**Quadro 14**).

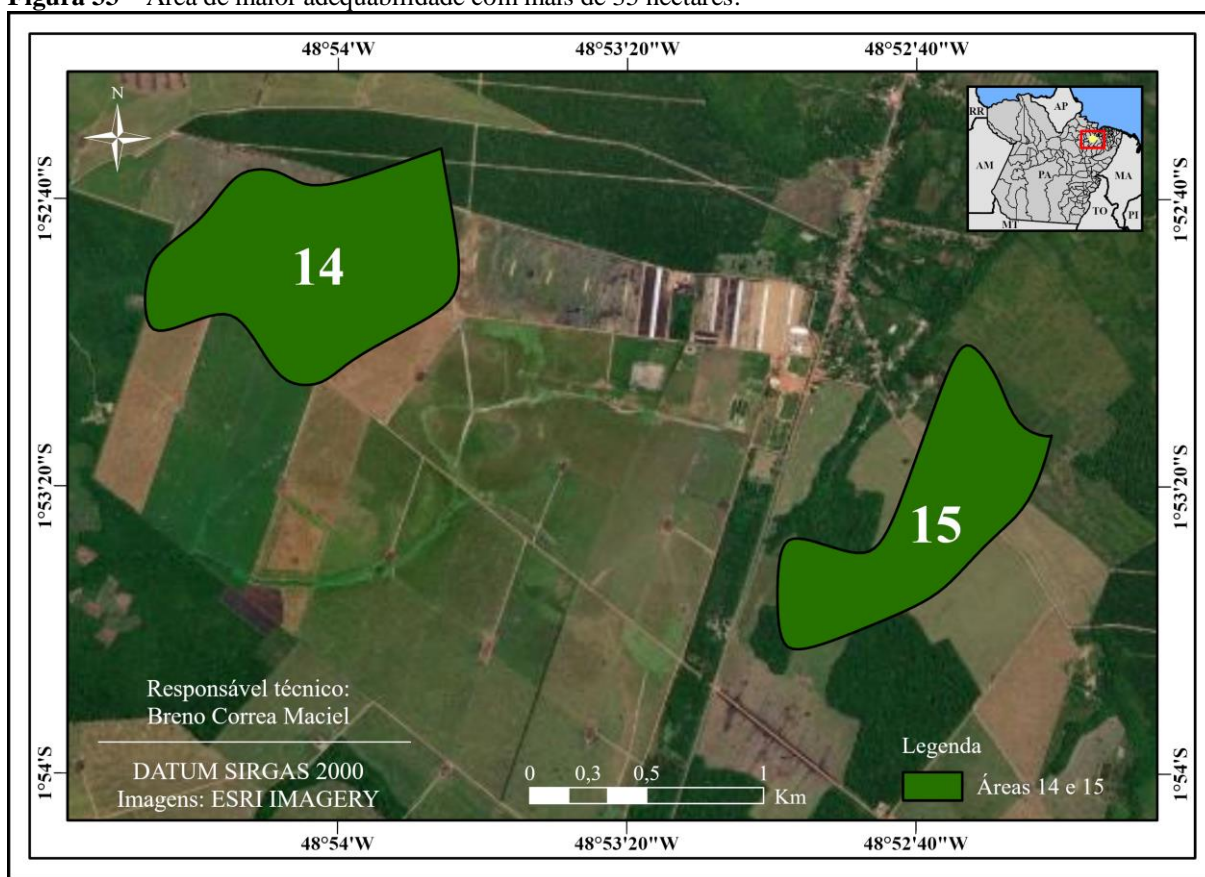
Na **Figura 33**, é possível observar com mais precisão uma ampliação dessas áreas. Constatou-se que por meio da visualização de imagem de satélite que ambas as áreas se encontram em sua maior totalidade em campo aberto, comprovando, portanto, o grau de precisão da metodologia aplicada juntamente com os critérios adotados.

Quadro 14 – Enquadramento das áreas.

Áreas	Tamanho	Área necessária	Enquadra-se?	Coordenadas
14	86,90 ha	35 ha	Sim	1°52'50" S - 48°54'03" W
15	61,05 ha	35 ha	Sim	1°53'26" S - 48°52'37" W

Fonte: Autor.

Figura 33 – Área de maior adequabilidade com mais de 35 hectares.



Elaboração: Autor (2024).

Desse modo, o estudo montou-se satisfatório para as áreas selecionadas, sendo, portanto, uma ferramenta muito útil na tomada de decisão garantindo a otimização de possíveis problemas do tipo ambiental, além de reduzir tempo desnecessário e recursos públicos a fim de avaliar as mais diversas possibilidades. Contudo, apesar das áreas se apresentarem como a mais adequadas a instalação de AS, conforme metodologia adotada, é necessário que seja avaliado com estudos mais aprofundados e visitas nas áreas selecionadas para confirmar com mais precisão.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado na definição de áreas para a instalação de aterro sanitário no município de Abaetetuba é de grande importância, pois tal empreendimento pode gerar sérios impactos ambientais e sociais para a população local. Logo, a elaboração de estudos prévios tende a evitar problemas relacionados a disposição de resíduos sólidos urbanos em ambientes inadequados.

A metodologia usada neste estudo foi considerada adequada para a definição de áreas para implantação de aterro sanitário. Esse método ajudou significativamente na seleção de locais adequados, levando em consideração fatores técnicos, ambientais e socioeconômicos. É importante lembrar que essa análise não constitui uma decisão definitiva, e é necessária uma investigação mais profunda, como por exemplo a elaboração de estudos técnicos com análises específicas de engenharia e geotecnologia. Adicionalmente, embora o estudo se baseie em evidências científicas, as decisões finais geralmente são influenciadas por fatores políticos e sociais.

Os resultados demonstraram que a análise multicritério possui potencial para utilização na definição de áreas para a instalação de um aterro sanitário. Por meio de SIG, permite-se uma avaliação abrangente das diversas áreas disponíveis, o que reduz os riscos de erros de escolhas de áreas. Esse método mostra-se útil para os gestores públicos municipais na tomada de decisões que envolvem questões ambientais e urbanas no contexto de saneamento público, evitando assim, gastos desnecessários de tempo e recursos públicos.

Para o município de Abaetetuba, foram possíveis identificar poucas áreas adequadas a instalação de AS de acordo com os critérios adotados. Com isso, identificou-se 205 áreas de adequabilidade segundo o processamento da AHP, mas ao serem filtrados, apenas 15 áreas foram avaliadas, pois apresentaram área igual ou superior a 35 hectares conforme cálculos do pré-dimensionamento da área mínima necessária. No entanto, das 15 áreas, 2 se mostraram as mais adequadas ao serem feitos a compatibilização de cada critério.

Contudo, aponta-se para a necessidade de novas pesquisas, adotando novos critérios para avaliações, tais como distância da localização de pontos de captação de água para abastecimento público, profundidade do lençol freático e unidades de conservação municipais. Recomenda-se a realização de análise gravimétrica mensal sobre os resíduos sólidos gerados no município de Abaetetuba/PA, incluindo as zonas rurais, para consolidar diagnósticos atualizados e precisos.

REFERÊNCIAS

ABAETETUBA, Lei Nº 222, de 10 de outubro de 2006. **Institui o plano diretor participativo de Abaetetuba**. Disponível em: < <https://abaetetuba.pa.gov.br/publicacoes> >. Acesso em 12 de maio. de 2024.

ABAETETUBA, Leis ambientais: 482/2016. **Institui o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, implanta a Política Municipal de Resíduos Sólidos, ambos do Município de Abaetetuba e dá outras providencias**. Disponível em: < <https://www.abaetetuba.pa.gov.br/publicacoes> >. Acesso em 12 de maio. de 2024.

AGUIAR, A. F. *et al.* Aptidão de áreas para implantação de aterro sanitário na Região Metropolitana de Belém (PA): análise de multicritérios. 2022.

ALVARES, C. Alcarde *et al.* **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013Tradução. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 27 mar. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Sistema de Metadados do SNIRH - Mapa de Unidades de Planejamento Hídrico do Brasil (2021). Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/9407d38f-84d2-48ea-97dd-ee152c493043>. Acesso em: 12/10/2024.

ANDRADE, A. J. B.; BARBOSA, N. P. P. Combinação do método AHP e SIG na seleção de áreas com potenciais para a instalação de aterro sanitário: caso da ilha do Fogo, na República de Cabo Verde. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 32, n. 2, p. 248-266, 2015.

ANJOS, J. Â. S. A. dos *et al.* Critérios para seleção de áreas, para implantação de aterro sanitário, no município de Paulo Afonso-Ba. **Geologia ambiental e médica do estado da Bahia: avaliação de impactos ambientais (AIA): Volume 1-Licenciamento e Estudos Ambientais**, 2021.

AQUINO, G. H. de. Análise do ciclo de vida de resíduos gerados em eventos de grande porte no Distrito Federal. 2020.

ARAMAKI, R. M.; PEREIRA, Rick Max; DOS SANTOS, A. S. Técnicas de análise espacial na identificação de áreas aptas para a implantação de um aterro sanitário no município de Divinópolis, Minas Gerais. **Caminhos de Geografia, Uberlândia**, v. 23, n. 86, p. 170–188, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). Panorama 2022: Resíduos Sólidos Urbanos. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR. 15.849: Aterros sanitários de pequeno porte-Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR. 10.157: Aterros de Resíduos Perigosos–Critérios para Projeto, Construção e Operação**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR. 12.980: Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos-Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR. 13.896: aterros de resíduos não perigosos-critérios para projeto, implantação e operação**. ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR. 8.849. Apresentação de projetos de Aterros Controlados de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro. ABNT, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR. 10.004: resíduos sólidos: classificação**. ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR. 8.419: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. ABNT, 1992.

BERTICELLI, R.; PANDOLFO, A.; KORF, E. P. Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos: perspectivas e desafios. **Revista gestão & sustentabilidade ambiental**, v. 5, n. 2, p. 711-744, 2016.

BORN, V. Avaliação da aptidão de áreas para a instalação de aterro sanitário com o uso de ferramentas de apoio à decisão por múltiplos critérios. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2014.

BRASIL, Casa Civil. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF**, v. 3, 2010. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm >. Acesso em: 10 dez. 2023.

BRASIL, Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 10 dez. 2023.

BRASIL, Constituição. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. **Diário Oficial da União (da) República Federativa do Brasil**, 2000.

BRASIL, Lei n ° 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as leis n. ° 6.766, de 19 de dezembro de 1979, n. ° 8.036, de 11 de maio de 1990, n. ° 8.666, de 21 de junho de 1993, n. ° 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei n. ° 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, v. 3, p. 1-1, 2007.

BRASIL, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**, p. 166-67, 1981.

BRASIL, Lei. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, Lei de Crimes Ambientais. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Termo de Referência Técnico: Execução dos estudos ambientais preliminares, elaboração do projeto básico e executivo completo do aterro Sanitário.** 2011. BRASIL. Resolução

CONAMA nº 404, de 11 de novembro de 2008. Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.

BRUNA, B. de A. A. *et al.* Seleção de áreas adequadas para implantação de aterro sanitário intermunicipal no Sudeste Paraense-Brasil, utilizando SIG vinculado ao Método AHP. **Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, v. 17, n. 1, p. 53-80, 2024.

CAIADO, R. *et al.* Metodologia de revisão sistemática da literatura com aplicação do método de apoio multicritério à decisão SMARTER. In: **Congresso Nacional de Excelência em Gestão e III Inovarse–Responsabilidade Social e Aplicada.** 2016. p. 1-20.

CALIJURI, M. L.; MELO, AL de O.; LORENTZ, J. F. Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. **Informática Pública**, v. 4, n. 2, p. 231-250, 2002.

CARDOSO, E. C.; BLANCO, C. J. C.; FRIAES, E. P. P. Seleção de áreas para a construção de aterros sanitários em pequenos municípios da amazônia. **Revista GeoAmazônia**, v. 9, n. 18, p. 83-98, 2022.

CARDOZO, L. S. O geoprocessamento no processo de tomada de decisão: relato sobre os estudos técnicos em meio ambiente do mpsc. **Relatório de Conclusão do Curso de Graduação em Geografia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis**, 2018.

CARRILHO, A. N.; CANDIDO, H. G.; SOUZA, A. D. Geoprocessamento aplicado na seleção de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Conceição das Alagoas (MG). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 201-206, 2018.

CARVALHO, A. S. de *et al.* Caracterização do ambiente de várzea para a criação de peixes: um estudo de caso no município de Cametá-PA. 2013.

CARVALHO, R. R. de. Aplicação de análise multicritério em ambiente de geoprocessamento no estudo de áreas para implantação de aterros sanitários–área sul da RIDE/DF e Entorno. 2017.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. **Diário Oficial da União**, 1986.

COSTA, J. F. S. *et al.* Uma abordagem multicritério da telefonia móvel no estado do rio de janeiro através do método de análise hierárquica (ahp). **Cadernos do IME-Série Estatística**, v. 22, p. 16-16, 2007.

COSTA, T. G. A. *et al.* Impactos ambientais de lixão a céu aberto no Município de Cristalândia, Estado do Piauí, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 3, n. 4, p. 79-86, 2016.

DAS GRAÇAS ROTH, C.; GARCIAS, C. A influência dos padrões de consumo na geração de resíduos sólidos dentro do sistema urbano. **Redes. Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 13, n. 3, p. 5-13, 2008.

DE OLIVEIRA NETO, J. T. Determinação de áreas favoráveis à implantação de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos para o Município de Piumhi-MG. 2011.

DE OLIVEIRA¹, F. B. *et al.* Aplicação de geoprocessamento e lógica *fuzzy* para criação de zoneamento no parque estadual da Cachoeira da Fumaça/ES para fins de conservação. **Revista Brasileira de Cartografia, Uberlândia**, v. 66, n. 3, p. 545-554, 2014.

DE SABOIA, M. A. X. *et al.* Utilização de sistemas de informações geográficas para implantação de um aterro sanitário no município de Crateús/CE. **XIV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Natal-RN, 2023.

DEMATTÊ, J. A. M. Caracterização e Espacialização do meio físico, como base para o planejamento do uso da terra. 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT – BANCO DE INFORMAÇÕES DE TRANSPORTES. Disponível em: > <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit><. Acesso em: 27 jan.2024, 2023.

DOS SANTOS, A. P. *et al.* ANÁLISE DA VIABILIDADE DA CONSTRUÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE RANCHARIA (SP) POR MEIO DE ENGENHARIA ECONÔMICA. In: **Colloquium Exactarum**. ISSN: 2178-8332. 2020. p. 73-85.

DOS SANTOS, G. G. D. **Análise e perspectivas de alternativas de destinação dos resíduos sólidos urbanos: o caso da incineração e da disposição em aterros**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DOURADO, F. F.; DE ANDRADE, M. M. N.; CARNEIRO, Cleyton de Carvalho. Geração de mapas de riscos naturais em Santarém-PA: abordagem baseada na lógica *fuzzy*. **Geosciences= Geociências**, v. 36, n. 3, p. 579-587, 2017.

DUTRA, D. J. *et al.* Seleção de área para construção de aterro sanitário no município de Esmeraldas, MG, a partir da utilização de ferramentas de geoprocessamento. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 13, n. 2, p. 106-118, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2021. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/solos/sibcs> >. Acesso em 12 de maio. de 2024.

FARIAS, L. R. dos S.; GALVÃO, D. I.; SANTOS, T. M. Avaliação dos impactos socioambientais de um aterro sanitário no município de Salgueiro-PE. **Anais do XI SIMPROD**, 2019.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de textos, 2018.

GEMITZI, A. *et al.* Combinando sistema de informação geográfica, técnicas de avaliação multicritério e lógica *fuzzy* na localização de aterros de MSW. **Environmental Geology**, v. 51, p. 797-811, 2007.

GOMIDE, F.; GUDWIN, R. R.; TANSCHHEIT, R. Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos *fuzzy*, lógica *fuzzy* e aplicações. In: **Proc. 6 th IFSA Congress-Tutorials**. p. 1-38. 1995.

HIRANO, M. Y.; SILVA, C. L. da. Coleta de informações para projeto de incinerador regional de resíduos sólidos urbanos (RSU). 2012.

IBIAPINA, I. R. P.; OLIVEIRA, T. E.; SILVA, A. L. L. As Políticas Públicas e os Resíduos Sólidos Urbanos na Alemanha e no Brasil. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 60, 2021.

IGLESIAS, M. S. Diagnóstico de implantação de aterro sanitário no município de veríssimo-mg. **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 12, n. 01, p.16-35. jan.-abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS (IBGE). **Banco de Informações Ambientais** – BDIA. Geologia. 2023. Disponível em: < <https://BDiAweb.ibge.gov.br/#/consulta/geologia>>. Acesso em: 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS (IBGE). **Banco de Informações Ambientais** – BDIA. Geomorfologia. 2023. Disponível em: < <https://BDiAweb.ibge.gov.br/#/consulta/geomorfologia>>. Acesso em: 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS (IBGE). **Banco de Informações Ambientais** – BDIA. Pedologia. 2023. Disponível em: < <https://BDiAweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>>. Acesso em: 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS (IBGE). **Banco de Informações Ambientais** – BDIA. Vegetação. 2023. Disponível em: < <https://BDiAweb.ibge.gov.br/#/consulta/vegetacao>>. Acesso em: 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS (IBGE). **Censo demográfico**, 2022. Disponível em: < www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/abaetetub>. Acesso em: 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS (IBGE). **Malha dos setores censitário**, 2021. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais>>. Acesso em: 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Banco de dados geomorfológicos do Brasil – TOPODATA. Altitude e Declividade do terreno a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE). 2011. 1 censo matricial (01S495). Disponível em:< <https://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 2024.

JUCÁ, J. F. T. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. In: **Congresso Brasileiro De Geotecnia Ambiental-REGEO**. 2003. p. 2003.

- LOURENÇO, R. W. *et al.* Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 3, p. 122-140, 2015.
- LUPATINI, G. Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão em escolha de áreas para aterro sanitário. 2002. **Published Version—Florianópolis, SC**, 2002.
- MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N. de P.; VALLE, T. F. Implementação da política nacional de resíduos sólidos. **Revista de Administração Pública**, v. 52, p. 24-51, 2018.
- MANNARINO, C. F.; FERREIRA, J. A.; GANDOLLA, M. Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Européia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 379-385, 2016.
- MAPBIOMAS. Projeto *MapBiomas* – Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. 2021. Disponível em: < <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org> >. Acesso em 10 de janeiro. de 2024.
- MARENCO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, v. 36, n. 3, p. 1033-1050, 2017.
- MARRO, A. A. *et al.* Lógica *fuzzy*: conceitos e aplicações. **Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)**, p. 2, 2010.
- MASSUKADO, L. M. Sistema de apoio à decisão: avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares. 2004.
- MOURA, Y. M.; CAMPOS, J. L. P. S.; PEREIRA, L. C. Precipitação na Amazônia: padrões sazonais e anomalias associadas aos fenômenos El Niño e La Niña. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 34, n. 3, p. 379-392, 2019.
- MELLO, G. A. T. de. Notas sobre o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil. 2008.
- MELO, A. L. O. de. Avaliação e seleção de área para implantação de aterro sanitário utilizando lógica *fuzzy* e análise multicritério: uma proposta metodológica. Aplicação ao município de Cachoeiro de Itapemirim-ES. 2001.
- MELO, Dayane Oliveira Santos. **Gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares de São Carlos-SP: análise do potencial de aproveitamento energético de biogás oriundo de aterro sanitário e biometanizadores**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- MERSONI, C.; REICHERT, G. A. Comparação de cenários de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica da Avaliação do Ciclo de Vida: o caso do município de Garibaldi, RS. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 05, p. 863-875, 2017.
- MONTEIRO, J. H. P. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. 2001.

MORAES, I. B. C. M.; RIBEIRO, G. P.; LARENTIS, D. G. Sistema de Informação Geográfica (SIG) Aplicado ao Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Escorregamento no Município de Angra dos Reis-RJ. 2012.

MOREIRA, J. J. S. (2020) Alternativas locacionais para a implantação de aterro sanitário no município de Rio Verde – Goiás. Monografia (Graduação), bacharelado em Engenharia Ambiental, Instituto Federal Goiano, Rio Verde. 38 f.

MOREIRA, P. A. G.; BARBERI, M.; DE OLIVEIRA, A. L. G. Delimitação de Áreas Para implantação de aterro sanitário utilizando metodologia multicritérios no município de Goiás, Goiás. **Revista Baru-Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, v. 4, n. 2, p. 223-235, 2018.

NAS, B. *et al.* Selection of MSW landfill site for Konya, Turkey using GIS and multi-criteria evaluation. **Environmental monitoring and assessment**, v. 160, p. 491-500, 2010.

NASCIMENTO, M. C. B. do. Seleção de sítios visando a implantação de aterros sanitários com base em critérios geológicos, geomorfológicos e hidrológicos. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo. 2001.

NASCIMENTO, V. F. Proposta para indicação de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Bauru-SP, utilizando análise multi critério de decisão e técnicas de geoprocessamento. 2012.

NETO, B. J. S.; AREIA, C. F. de. Uso de técnicas de geoprocessamento na seleção de áreas com potencial para implantação de aterro sanitário. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Foz do Iguaçu**, v. 13, 2013.

NEVES, S. J. R. *et al.* Identificação da aptidão de áreas à instalação de aterro sanitário no município de Prainha-PA utilizando avaliação multicritério e geotecnologias. 2022.

OSIS, R. *et al.* Mapeamento de valores de n spt como subsídio ao planejamento de linhas de transmissão na amazônia oriental. **Geotecnia**, v. 137, p. 125-139, 2016.

PARÁ, Secretaria de Estado de Meio Ambiente. LEI ORDINÁRIA Nº 5.887, DE 09 DE MAIO DE 1995. (Alterada pela Lei nº 6.671, de 2004. Alterada pela Lei nº 6.745, de 2005. Alterada pela Lei nº 6.986, de 2007. Alterada pela Lei nº 8.096, de 2015. Alterada pela Lei nº 9.575, de 2022. Alterada pela Lei nº 10.306, de 2023. (Vide ADI nº 4031)) (VIGENTE). Disponível em: < <https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/normas/view/424>. >. Acesso em 12 de maio. de 2024.

PARÁ, Secretaria de Estado de Meio Ambiente. **Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Pará** – Relatório Síntese. 2014. 256 p. v.1.

PEREIRA, Ananda Karine Sousa; COSTA, Jeferson Miranda. Flora de briófitas de praças da zona urbana da cidade de Abaetetuba, estado do Pará, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e2511929088-e2511929088, 2022.

PEREIRA, A. C.; COSTA, F. S. Caracterização climática e padrões sazonais da precipitação na região amazônica. **Revista Geográfica da Amazônia**, v. 10, n. 1, p. 56-72, 2022.

PERRONI, H. P. Contribuição metodológica para análise preliminar de potenciais áreas para aterro sanitário com auxílio do software QGIS – Estudo de Caso: Município de Vargem Grande do Sul – SP. Março de 2021, São Paulo, 2021.

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

PRATA, T. C. *et al.* Avaliação da vulnerabilidade ambiental da costa Oeste da região do Salgado Paraense. 2020.

PURIFICAÇÃO, C. G. C. da. Análise de decisão multicritério e SIG aplicados ao gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos na escolha de áreas para implantação de aterros sanitários-RMS/Bahia. 2021.

QUINTAL, A. P. R. Reutilização e Reciclagem de Materiais. Laboratório de Construção. 2011. **Dissertação de Mestrado**. Universidade do Porto (Portugal).

REDISKE, G.; STORCH, C. R. R.; NARA, E. O. B. Construção de mapas conceituais do método AHP e Promethee. In: **V Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**. 2015.

RÊGO, R. de C. F.; BARRETO, M. L.; KILLINGER, C. L. O que é lixo afinal? Como pensam mulheres residentes na periferia de um grande centro urbano. **Cadernos de saúde pública**, v. 18, p. 1583-1591, 2002.

RENO, S. A. M. The Most Efficient Waste Managemet System in Europe, Waste-to-energy in Denmark, Technical Report. [http://www. ramboll. com](http://www.ramboll.com). 2006

RIBEIRO, M. C. de C. R.; ALVES, A. da S. Aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. **Sistemas & Gestão**, v. 11, n. 3, p. 270-281, 2016.

RODRIGUES, P. R. B. *et al.* Análise do potencial de reutilização dos resíduos provenientes de poda, município de Palmas, Tocantins. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 1, p. 269-284, 2015.

RODRIGUEZ, D. S. S.; COSTA, H. G.; CARMO, L. F. R. R. S. do. Métodos de auxílio multicritério à decisão aplicados a problemas de PCP: Mapeamento da produção em periódicos publicados no Brasil. **Gestão & Produção**, v. 20, p. 134-146, 2013.

RUSSO, M. A. T. Tratamento de resíduos sólidos. **Universidade de Coimbra**, 2003.

SAATY, T. L. Alguns conceitos matemáticos do processo de hierarquia analítica. **Behaviormetrika**, v. 18, n. 29, p. 1-9, 1991.

SAATY, T. L. Tomada de decisão com o processo de hierarquia analítica. **International journal of services sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SAMIZAVA, T. M. *et al.* 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.

SANTOS, R. da S.; COELHO-FERREIRA, M. Estudo etnobotânico de *Mauritia flexuosa* L. f. (Arecaceae) em comunidades ribeirinhas do Município de Abaetetuba, Pará, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 42, p. 1-10, 2012.

SCHMIDT, T. Seleção de área e dimensionamento de aterro sanitário para o Consórcio Público Intermunicipal para Assuntos Estratégicos do G8–CIPAE G8. 2017.

SEMAS, Secretaria Estadual do Pará. SEIRH, Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos. **Bases hidrográficas estaduais**. 2021. Disponível em: < <http://sistemas.semas.pa.gov.br/portal-seirh/#/secoes/4> >. Acesso em 12 de maio. de 2024.

SILVA, H.; BARBIERI, A. F.; MONTE-MÓR, R. L. Demografia do consumo urbano: um estudo sobre a geração de resíduos sólidos domiciliares no município de Belo Horizonte. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 29, p. 421-449, 2012.

SILVA, M. V. S. da *et al.* Identificação e seleção de áreas potenciais à implantação de aterro sanitário no Município de Castanhal-PA, através do uso de sistema de informações geográficas. 2019.

SILVA, TS C. *et al.* Caracterização dos depósitos aluvionares do igarapé paiva na serra do Tepequém-RR. **REVISTA GEONORTE**, v. 5, n. 20, p. 196-201, 2014.

SINIR, Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos. **Gestão de resíduos sólidos**. 2019. Disponível em: < <https://sinir.gov.br/mapas/gestao-residuos-solidos/> >. Acesso em: Jan 2024

SINISA, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos** - 2022. Disponível em: < www.snis.gov.br >. Acesso em: Jan 2024

SNSA, SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: guia do profissional em treinamento: nível 2**. Belo Horizonte: ReCESA, 2008.

SOUZA, M. R. de. Estudo enunciativo do adjetivo como indicador de subjetividade. 2017.

SPIGOLON, L. M. G. *et al.* Seleção de áreas adequadas para a instalação de aterro sanitário utilizando SIG e análise multicritério-estudo de caso: UGRHI 5 (Piracicaba/Capivari/Jundiá). **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, João Pessoa-PB, Brasil**, p. 1983-1990, 2015.

SPINOLA, G. M. R.; DE ANDRADE, P. R.; NASCIMENTO, V. F. Caracterização e dimensionamento de aterros sanitários para resíduos sólidos urbanos no Brasil e nos municípios paulistas. **Relatório final de projeto de iniciação científica. Inpe: São José dos Campos, SP**, 2017.

STANGLER, B. Gestão associada a partir do consórcio intermunicipal para gerenciamento integrado de resíduos sólidos domiciliares-estudo de caso Tio Hugo. 2012.

VESPA, I. C. G. Características minerais e energéticas do lixo urbano em processos de compostagem e biodigestão anaeróbia. 2005.

WEBER, E.; HASENACK, H. Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados. **Porto Alegre: UFRGS**, 2000.

ZANTA, V. M.; FERREIRA, C. F. A. Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos. Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. São Carlos, SP: **Rima Artes e Textos**, 2003.