



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

CAROLINE BEATRIZ FERREIRA MAGNO

**USO DE GEOPROCESSAMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS
ADEQUADAS PARA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO
CIVIL NO MUNICÍPIO DE MACAPÁ/AP**

MACAPÁ – AP

2026

CAROLINE BEATRIZ FERREIRA MAGNO

**USO DE GEOPROCESSAMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS
ADEQUADAS PARA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO
CIVIL NO MUNICÍPIO DE MACAPÁ/AP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá – Campus Macapá, em cumprimento às exigências legais como requisito para obtenção do título de Bacharel no Curso de Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Ma. Leila Cristina Nunes Ribeiro

Coorientador: Prof. José Bruno de Souza Furtado

MACAPÁ – AP

2026

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

- M198u Magno, Caroline Beatriz Ferreira
 Uso de geoprocessamento para identificação de áreas adequadas para
 destinação de resíduos sólidos da construção civil no município de Macapá/AP /
 Caroline Beatriz Ferreira Magno - Macapá, 2026.
 59 f.: il.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de
 Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Macapá,
 Bacharelado em Engenharia Civil, 2026.
- Orientadora: Ma. Leila Cristina Nunes Ribeiro.
 Coorientador: José Bruno de Souza Furtado.
1. Resíduos Sólidos da Construção Civil. 2. Geoprocessamento. 3. Análise
 Multicritério. I. Ribeiro, Ma. Leila Cristina Nunes, orient. II. Furtado,
 José Bruno de Souza, coorient. III. Título.


Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica do IFAP
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

CAROLINE BEATRIZ FERREIRA MAGNO


**USO DE GEOPROCESSAMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS
ADEQUADAS PARA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO
CIVIL NO MUNICÍPIO DE MACAPÁ/AP**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá
– Campus Macapá, em cumprimento às
exigências legais como requisito para
obtenção do título de Bacharel no Curso de
Engenharia Civil.


BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **LEILA CRISTINA NUNES RIBEIRO**
Data: 09/02/2026 21:18:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Ma. Leila Cristina Nunes Ribeiro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente
 **JOSE BRUNO DE SOUZA FURTADO**
Data: 11/02/2026 01:37:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. José Bruno de Souza Furtado
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente
 **TARCISIO SANTIAGO GOMES FILHO**
Data: 10/02/2026 10:03:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Tarcísio Santiago Gomes Filho
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente
 **ITALO RUAN DANTAS FERREIRA**
Data: 10/02/2026 09:42:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Ítalo Ruan Dantas Ferreira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente
 **ELNATAN LINS DA COSTA**
Data: 10/02/2026 12:45:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Enaltan Lins da Costa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Apresentado em: 31 / 01 / 2026
Conceito/Nota: 98

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, José Antonio e Roselene Ferreira. Vocês suportaram o calor do sol e o peso das lutas diárias para que hoje, e no futuro, eu pudesse caminhar na sombra das minhas conquistas. Obrigada por terem feito da minha educação a obra mais importante de nossas vidas e por nunca me deixarem desistir. Tudo o que sou, e tudo o que construí até aqui, tem a assinatura do amor de vocês.

Aos meus irmãos, que estiveram ao meu lado e me viram crescer, dividindo cada fase da vida. O apoio de vocês é o meu maior privilégio.

À minha sobrinha, que desde o primeiro suspiro trouxe uma luz nova e pura aos meus dias. És a motivação mais doce para que eu queira, a cada dia, projetar um mundo melhor para você viver.

Aos meus amigos, que tornaram esta caminhada mais leve. Obrigada pelas risadas, pela escuta atenta em todos os momentos e por compreenderem as minhas ausências durante esta jornada acadêmica. Mesmo longe, a presença de vocês fez toda a diferença.

Aos meus colegas de estágio, que dividiram comigo os primeiros passos na prática da profissão. Obrigada por me incentivarem diariamente a buscar a minha melhor versão, pelas risadas que aliviaram o cansaço da rotina e pelas trocas sinceras que levarei para toda a vida profissional.

À minha orientadora, Profa. Ma. Leila Cristina Nunes Ribeiro, pela condução sábia durante a escrita deste trabalho, e ao meu coorientador, Prof. José Bruno de Souza Furtado, pela paciência, contribuições técnicas e por acreditar no meu potencial.

Ao Instituto Federal do Amapá, por ser um espaço de transformação, pelo ensino público e de qualidade que possibilitou não só a minha formação profissional, mas também me lapidou como cidadã.

RESUMO

O gerenciamento inadequado dos Resíduos da Construção Civil (RCC) representa um desafio crítico para o município de Macapá-AP, marcado pela disposição irregular em áreas ambientalmente sensíveis, como as áreas de ressaca, e pela carência de locais licenciados para a destinação final. Este trabalho teve como objetivo identificar e mapear as áreas com maior aptidão locacional para a implantação de um aterro de resíduos inertes (Classe A) no município, empregando técnicas de Geoprocessamento e Análise Multicritério. A metodologia foi desenvolvida em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software QGIS. A abordagem integrou a lógica Booleana, para a exclusão de áreas com restrições legais e físicas, como Unidades de Conservação e Áreas de Preservação Permanente, e a lógica *Fuzzy*, para a graduação da adequabilidade das áreas remanescentes. Foram analisados sete critérios determinantes: hidrografia, áreas inundáveis, unidades de conservação, declividade, pedologia, infraestrutura viária e distância de núcleos populacionais. A ponderação dos fatores, via Combinação Linear Ponderada, atribuiu maior peso à proteção hídrica e à pedologia, considerando as especificidades do ambiente estuarino. Os resultados demonstraram que a densa malha hidrográfica e as zonas de várzea inviabilizam cerca de 60% do território. Contudo, foram identificadas zonas de alta aptidão concentradas nos interflúvios dos setores Norte e Oeste. Estas áreas destacam-se pela convergência favorável de todos os critérios analisados: apresentam Latossolos profundos e declividades suaves, situam-se fora de áreas inundáveis e Unidades de Conservação, respeitam os distanciamentos seguros da malha hidrográfica e de núcleos populacionais, e possuem proximidade estratégica às rodovias BR-210, BR-156 e AP-070. Conclui-se que Macapá possui disponibilidade territorial viável para o empreendimento, desde que respeitadas as condicionantes ambientais mapeadas.

Palavras-chave: resíduos de construção civil; geoprocessamento; análise multicritério; gestão ambiental; aterro.

ABSTRACT

The inadequate management of Construction and Demolition Waste (CDW) represents a critical challenge for the municipality of Macapá-AP, marked by irregular disposal in environmentally sensitive areas, such as floodplains, and by a lack of licensed sites for final disposal. This work aimed to identify and map the areas with the greatest locational suitability for the implementation of an inert waste landfill (Class A) in the municipality, employing Geoprocessing and Multicriteria Analysis techniques. The methodology was developed in a Geographic Information Systems (GIS) environment, using QGIS software. The approach integrated Boolean logic, for the exclusion of areas with legal and physical restrictions, such as Conservation Units and Permanent Preservation Areas, and *Fuzzy* logic, for grading the suitability of the remaining areas. Seven determining criteria were analyzed: hydrography, floodable areas, conservation units, slope, soil type, road infrastructure, and distance from population centers. The weighting of factors, via Weighted Linear Combination, assigned greater weight to water protection and soil type, considering the specificities of the estuarine environment. The results demonstrated that the dense hydrographic network and floodplain zones make approximately 60% of the territory unsuitable. However, areas of high suitability were identified, concentrated in the interfluves of the North and West sectors. These areas stand out for the favorable convergence of all the analyzed criteria: they present deep Latosols and gentle slopes, are located outside flood-prone areas and Conservation Units, respect safe distances from the hydrographic network and population centers, and have strategic proximity to the BR-210, BR-156, and AP-070 highways. It is concluded that Macapá has viable territorial availability for the project, provided that the mapped environmental conditions are respected.

Keywords: construction waste; geoprocessing; multicriteria analysis; environmental management; landfill.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição dos Resíduos de Construção Civil no Brasil.....	17
Figura 2 – Pirâmide invertida da gestão de resíduos sólidos da construção civil pela PNRS	18
Figura 3 – Mapa de localização do município de Macapá-AP.....	26
Figura 4 – Mapa geomorfológico do estado do Amapá.....	27
Figura 5 – Mapa de solos do município de Macapá-AP.....	28
Figura 6 – Mapa booleano de restrição: Áreas Inundáveis	39
Figura 7 – Mapa booleano de restrição: Unidades de Conservação.....	40
Figura 8 – Mapa de declividade em porcentagem.....	41
Figura 9 – Mapa de aptidão normalizado pela lógica <i>fuzzy</i> : fator declividade.....	42
Figura 10 – Mapa booleano de restrição: hidrografia	43
Figura 11 – Mapa de aptidão normalizado pela lógica <i>fuzzy</i> : fator hidrografia.....	44
Figura 12 – Mapa booleano de restrição: núcleos populacionais.....	45
Figura 13 – Mapa de aptidão normalizado pela lógica <i>fuzzy</i> : fator núcleos populacionais.....	46
Figura 14 – Mapa booleano de restrição: vias e rodovias.	47
Figura 15 – Mapa de aptidão normalizado pela lógica <i>fuzzy</i> : fator vias e rodovias...	48
Figura 16 – Mapa de aptidão normalizado pela lógica <i>fuzzy</i> : fator pedologia	49
Figura 17 – Mapa final de aptidão locacional para aterro de RCC em Macapá-AP ..	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de relevo segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.	31
Tabela 2 – Pontuação <i>fuzzy</i> para o critério declividade.	32
Tabela 3 – Pontuação <i>fuzzy</i> para distâncias de hidrografias.	32
Tabela 4 – Pontuação <i>fuzzy</i> para distância dos núcleos populacionais.	33
Tabela 5 – Pontuação <i>fuzzy</i> para distâncias de vias e rodovias.	34
Tabela 6 – Pontuação <i>fuzzy</i> para classes de solos.	34
Tabela 7 – Pesos finais para a Combinação Linear Ponderada.	36
Tabela 8 – Quantificação das áreas por classe de aptidão.	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Síntese dos critérios ambientais, parâmetros de restrição e lógica de aptidão adotada.	35
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1	Resíduos de construção civil e sua gestão.....	15
3.1.1	Definição	15
3.1.2	Gestão.....	17
3.2	Impactos ambientais do manejo inadequado de RCC.....	19
3.2.1	Impactos hidrológicos.....	20
3.2.2	Impactos biológicos.....	20
3.2.3	Impactos sociais.....	20
3.3	Geoprocessamento aplicado à gestão de RCC	21
3.3.1	Geoprocessamento e sistemas de informação geográfica: conceitos e fundamentos	21
3.3.2	Aplicação de geotecnologias na gestão de resíduos sólidos	22
3.3.3	Técnicas e softwares de geoprocessamento	23
4	METODOLOGIA.....	25
4.1	Abordagem metodológica.....	25
4.2	Caracterização da área de estudo	25
4.3	Levantamento de dados.....	29
4.4	Processamento dos dados	29
4.5	Análise multicritério	30
4.5.1	Áreas inundáveis.....	30
4.5.2	Unidades de Conservação	31
4.5.3	Declividade.....	31
4.5.4	Hidrografia.....	32
4.5.5	Núcleos populacionais	33
4.5.6	Vias e rodovias.....	33
4.5.7	Pedologia	34
4.5.8	Padronização	35
4.6	Mapa de aptidão.....	37

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
5.1	Análise multicritério	38
5.1.1	Análise de critério: áreas inundáveis.....	38
5.1.2	Análise de critério: Unidades de Conservação.....	40
5.1.3	Análise do critério: declividade	41
5.1.4	Análise do critério: hidrografia	43
5.1.5	Análise de critério: núcleos populacionais.....	45
5.1.6	Análise do critério: vias e rodovias	46
5.1.7	Análise do critério: pedologia	48
5.2	Mapa de aptidão.....	50
6	CONCLUSÃO.....	53
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

O município de Macapá enfrenta desafios complexos relacionados ao manejo de resíduos sólidos, com destaque para a gestão dos Resíduos de Construção Civil (RCC). O cenário local é marcado pela disposição inadequada desses materiais em áreas ambientalmente sensíveis, como as áreas de ressaca e margens de corpos hídricos. Estudos locais apontam que, apesar da expansão urbana, a capital amapaense ainda carece de uma infraestrutura consolidada para o tratamento desses resíduos, o que resulta na degradação da qualidade ambiental urbana (Avelar; Sousa, 2017; Neves *et al.*, 2020).

Conforme observado por Nery *et al.* (2016), a gestão de resíduos no estado do Amapá tem ocorrido de forma tardia e precária, muitas vezes movida apenas por intervenções externas ou sanções, como o episódio registrado em 2017, quando a gestão municipal penalizou o descarte irregular de entulho em Área de Preservação Permanente (APP) (Macapá, 2017). Ademais, Neves *et al.* (2020) apontam que a ausência de usinas de beneficiamento na cidade impede o fechamento da reciclagem localmente. Embora as autoras refiram-se especificamente ao mercado de recicláveis da coleta seletiva, essa carência de infraestrutura industrial também afeta a gestão dos RCC. Sem usinas locais de reciclagem, o potencial econômico dos resíduos da construção é desperdiçado, resultando em sua subutilização ou, frequentemente, na disposição inadequada no solo.

Nesse contexto, a gestão adequada dos RCC transcende a operação logística, constituindo uma exigência legal. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabelece uma hierarquia clara de gestão: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e, apenas por fim, a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (Brasil, 2010). Corroborando essa diretriz, a Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) veda a disposição de RCC em locais inadequados, como em aterros de resíduos sólidos urbanos, áreas de “bota-fora”, encostas, corpos d’água, lotes vagos ou em áreas protegidas por lei, exigindo a triagem e destinação correta conforme a classe do resíduo (Brasil, 2002).

Entretanto, há uma lacuna entre a normativa federal e a realidade de Macapá. Avelar e Sousa (2017) caracterizam o local de recebimento de resíduos da capital não como um aterro sanitário pleno, mas como uma área de “aterro semicontrolado”, onde

a triagem e o tratamento são ineficientes. Nesse sentido, Nery *et al.* (2016) ressaltam que a empresa gestora não detém licença para operar com resíduos industriais e RCC, visto que não dispõe de métodos adequados de tratamento, restringindo-se à coleta e realocação desses rejeitos em uma área específica.

Diante da carência de áreas licenciadas e da necessidade de um ordenamento territorial efetivo, o geoprocessamento surge como ferramenta estratégica para a tomada de decisão, permitindo análises multicritério que integram variáveis ambientais, legais e urbanísticas para identificar locais aptos a receber infraestruturas de manejo de RCC (Simões, 2009).

Dessa forma, a presente pesquisa visa fornecer subsídios técnicos e espaciais ao Município de Macapá, colaborando com o planejamento previsto na PNRS, que busca reduzir os impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada, tais como a proliferação de vetores, a obstrução do sistema de drenagem, o assoreamento de corpos hídricos e a contaminação do solo e lençol freático, conforme elencados por Matias (2020), e fomentar práticas de engenharia alinhadas à sustentabilidade, preenchendo a lacuna de informações espaciais sobre a aptidão do solo urbano para este fim.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Identificar áreas ambientalmente viáveis para destinar resíduos sólidos oriundos da construção civil no município de Macapá-AP.

2.2 Objetivos específicos

- Levantar dados cartográficos, ambientais e urbanísticos, como hidrografia, pedologia, infraestrutura e áreas de preservação;
- Aplicar critérios legais e técnicos para delimitação dos locais de destinação de RCC;
- Caracterizar e produzir mapas temáticos por meio de geoprocessamento;
- Indicar as áreas ambientalmente adequadas para destinação, com base nos dados levantados e mapas temáticos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para subsidiar a análise proposta, este capítulo apresenta os conceitos fundamentais que norteiam o estudo. Inicialmente, discute-se a definição e a classificação dos Resíduos de Construção Civil, bem como o panorama legislativo vigente. Em seguida, abordam-se os impactos socioambientais decorrentes da gestão inadequada e, por fim, explora-se o geoprocessamento como ferramenta de suporte à decisão, detalhando as técnicas de análise multicritério aplicadas ao planejamento ambiental.

3.1 Resíduos de construção civil e sua gestão

3.1.1 Definição

Segundo Freitas (2020), o crescimento das cidades intensificou a produção de Resíduos da Construção Civil, exigindo uma mudança de paradigma que integre a gestão desde a fonte geradora até a destinação final. Nesse contexto, o acelerado processo de urbanização brasileiro resultou em uma pressão significativa sobre os sistemas de infraestrutura e saneamento básico, tornando a gestão dos resíduos sólidos urbanos um desafio para a administração pública, no qual os RCC assumem um papel preponderante devido ao elevado volume de geração e ao potencial de impacto ambiental (Matias, 2020).

Conforme aponta a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA), o Brasil gerou cerca de 44,5 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no ano de 2023 (ABREMA, 2024). Esse montante representa aproximadamente 55% de todos os resíduos sólidos coletados no país, o que demonstra que a construção civil é um dos maiores geradores de resíduos nas áreas urbanas. A gestão inadequada desse volume acarreta não apenas danos ecológicos, mas também prejuízos econômicos e sociais, sobrecarregando os serviços de limpeza urbana (Freitas, 2020).

Do ponto de vista normativo, a gestão desses materiais é orientada pela Resolução nº 307/2002 e suas atualizações (Resoluções nº 348/2004, nº 431/2011, nº 448/2012 e nº 469/2015). Esta resolução define os RCC, em seu Art. 2º, como os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições, bem como os

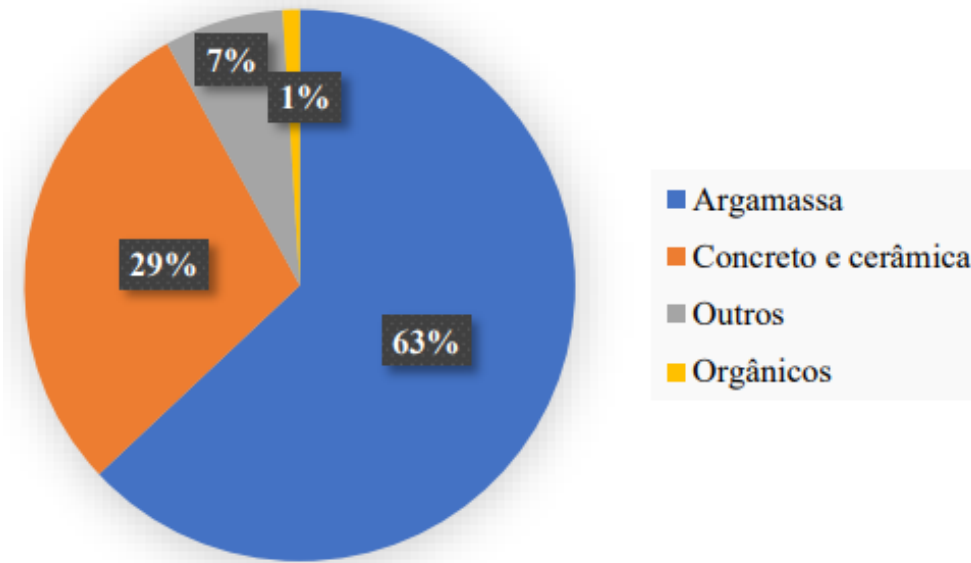
resultantes da preparação e da escavação de terrenos. O dispositivo legal exemplifica que essa categoria abrange diversos materiais, englobando desde componentes estruturais e de alvenaria, como tijolos, blocos cerâmicos, argamassa, concreto em geral e solos, até elementos de acabamento e instalações, incluindo metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica e outros. A norma ainda reconhece as denominações populares para esses materiais, citando termos como entulhos de obras, caliça ou metralha (Brasil, 2002).

Para viabilizar a gestão diferenciada, a normativa determina que a triagem deve ocorrer por meio da segregação na origem. Isso implica que a separação dos materiais deve ser realizada pelo próprio gerador no interior do canteiro de obras, evitando a mistura de classes distintas nas caçambas de transporte. Essa prática é fundamental para preservar o potencial econômico dos recicláveis e impedir a contaminação de agregados minerais por substâncias perigosas. Consoante a Resolução nº 307/2002, a classificação para essa triagem divide-se em quatro grupos:

- a) Classe A: Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como os de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obra de infraestrutura, de edificações (componentes cerâmicos, argamassa e concreto) e de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas de concreto, além de solos provenientes de terraplanagem;
- b) Classe B: Resíduos recicláveis para outras destinações (plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.
- c) Classe C: Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.
- d) Classe D: Resíduos perigosos oriundos do processo de construção (tintas, solventes, óleos) ou contaminados (amianto, resíduos de clínicas radiológicas, resíduos de instalações industriais).

Conforme demonstra a Figura 1, a composição dos RCC no cenário brasileiro apresenta uma predominância significativa de resíduos da Classe A, compostos majoritariamente por materiais minerais como concreto e argamassas.

Figura 1 – Composição dos Resíduos de Construção Civil no Brasil



Fonte: Silva (2021).

Segundo Silva (2021), essa alta porcentagem de materiais inertes confirma o elevado potencial de reciclagem dos resíduos gerados. Portanto, a gestão de resíduos deve priorizar a reintegração dos agregados à cadeia produtiva da construção civil, minimizando o volume encaminhado para aterros, visto que, segundo a autora, os RCC são produzidos em três frentes principais: na execução, em reformas e na demolição. Contudo, mesmo com o avanço das práticas de reciclagem, a identificação de áreas aptas para a disposição final permanece indispensável para a gestão dos rejeitos e do excedente que não é absorvido imediatamente pela cadeia produtiva.

3.1.2 Gestão

A gestão integrada desses materiais foi fortalecida com a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010). Freitas (2020) destaca que a gestão ambiental de resíduos não deve se limitar à remoção, mas sim incorporar uma visão sistêmica que priorize a não geração e a redução. A PNRS reforça esse entendimento ao estabelecer a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e ao impor uma ordem de prioridade na gestão: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e, somente como última opção, a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, conforme a imagem Figura 2 que retrata a hierarquia da gestão (Brasil, 2010).

Figura 2 – Pirâmide invertida da gestão de resíduos sólidos da construção civil pela PNRS



Fonte: Adaptado de Envex Engenharia e Consultoria (2023).

No que tange à infraestrutura de manejo e destinação dos RCC, as etapas de fluxo de gerenciamento são definidas assim:

1. **Áreas de Transbordo e Triagem (ATT):** definidas pela Resolução nº 448/2012 e regidas tecnicamente pela NBR 15.112/2004, constituem estações intermediárias para segregação e armazenamento temporário de pequenos volumes ou cargas mistas. Sua função é receber o material bruto e realizar a triagem, encaminhando posteriormente as frações segregadas para reciclagem ou, no caso de rejeitos e excedentes, para a disposição final adequada.
2. **Usinas de Reciclagem de RCC:** instalações industriais regulamentadas pela NBR 15.114/2004, destinadas ao beneficiamento da Classe A. Por meio da britagem, o resíduo é transformado em agregado reciclado, constituindo a destinação prioritária para a reinserção do material na cadeia produtiva.
3. **Aterros de Resíduos de Construção Civil (Classe A):** regidos pela NBR 15.113/2004, são áreas para disposição final de resíduos da Classe A no solo. Recebem materiais excedentes ou cuja reciclagem seja técnica ou economicamente inviável.

Em Macapá, a ausência de infraestrutura adequada de licenciamento e fiscalização agrava o cenário. No ano de 2023, a Secretaria Municipal de Zeladoria Urbana (Semzur) removeu cerca de 18,4 mil toneladas de resíduos de pontos de descarte irregular, sendo os RCC a fração predominante (Barros, 2023). Essa prática

recorrente de descarte em áreas de ressaca e margens de canais compromete o sistema de drenagem urbana, evidenciando a necessidade urgente de identificar áreas tecnicamente aptas para a disposição desses materiais.

Matias (2020) destaca que a ausência de áreas legalmente designadas para a destinação de RCC tem levado à disposição irregular desses materiais. Essa prática de descarte em locais não licenciados, como terrenos baldios, encostas e margens de rios, ultrapassa a problemática da logística e converte-se em um vetor de degradação ecológica e riscos à saúde pública, desencadeando uma série de consequências negativas que configuram os impactos ambientais do manejo inadequado.

3.2 Impactos ambientais do manejo inadequado de RCC

O setor da construção civil desempenha um papel ambíguo no cenário urbano: ao mesmo tempo em que é um motor essencial para o desenvolvimento econômico e social, destaca-se como um dos maiores consumidores de recursos naturais e geradores de resíduos sólidos (Matias, 2020; Silva, 2021). A problemática dos resíduos oriundos da construção civil transcende a simples questão do volume gerado, residindo principalmente na ineficiência do seu manejo e na disposição final inadequada, o que acarreta severos passivos ambientais, sociais e econômicos para os municípios brasileiros (Freitas, 2020; Pinto, 1999).

Segundo Pinto (1999), essa prática perpetua um modelo de “Gestão Corretiva”, no qual o poder público é obrigado a atuar continuamente na remoção dos resíduos depositados em vias e logradouros, gerando elevados custos operacionais que poderiam ser investidos na prevenção e na infraestrutura urbana. Ainda segundo o autor, essa gestão reativa, além de onerar os cofres municipais, consolida um problema ambiental contínuo, uma vez que a deposição desordenada desses materiais altera as características físicas e biológicas do meio urbano (Pinto, 1999).

A disposição final inadequada dos resíduos da construção civil acarreta uma cadeia de passivos que transcende a esfera ambiental, atingindo a saúde pública e a economia local. Sobre a multiplicidade desses impactos negativos, Matias (2020, p. 44) destaca:

[...] a contaminação de solos e águas; efeitos nocivos à fauna e flora; poluição do ambiente; gerando prejuízos econômicos, tanto em recursos primários, como também os efeitos negativos em turismo e transporte do

local afetado, além de afetarem diretamente a saúde pública e a vida das populações pela proliferação de pragas e doenças e pelo mau uso dos espaços (SPIES, 2009). Sem contar que a alta geração de RCD pode ainda causar o esgotamento de aterros sanitários (POON; YUNG, 2003), prejuízos ao meio ambiente por poluição perigosa (ESIN; COSGUN, 2007) e desperdício de recursos naturais.

3.2.1 Impactos hidrológicos

Do ponto de vista hidrológico e sanitário, o acúmulo desordenado de RCC compromete a infraestrutura de drenagem, uma vez que o carreamento de resíduos para galerias e cursos d'água promove o assoreamento e a redução da vazão de água, potencializando a ocorrência de alagamentos (Pinto, 1999). Nesse contexto, Biluca (2017) reforça que a disposição inadequada no perímetro urbano não apenas intensifica os episódios de enchentes, mas também resulta na obstrução de vias, na deterioração da paisagem urbana e no aumento dos riscos à saúde pública.

3.2.2 Impactos biológicos

Além dos danos hidrológicos, a acumulação de RCC sem controle sanitário desencadeia impactos biológicos significativos. Pinto (1999) observa que a disposição irregular de entulho atrai, por conveniência econômica, o descarte clandestino de outros resíduos sólidos urbanos, degradando as condições de saneamento local. Essa heterogeneidade nos rejeitos, cria ambientes propícios à proliferação de vetores de doenças, como roedores, escorpiões e o mosquito *Aedes aegypti* (Freitas, 2020).

Adicionalmente, Freitas (2020) alerta para os riscos da presença de frações perigosas (Classe D), como tintas, solventes e óleo, cuja lixiviação pode contaminar o solo e o lençol freático. O mesmo autor reforça ainda a necessidade de segregação dos materiais biodegradáveis, visto que sua decomposição associada ao entulho potencializa a geração de gases e lixiviados.

3.2.3 Impactos sociais

A degradação da paisagem urbana é outro impacto direto que afeta a percepção social e valorização imobiliária. Tal prática, conforme aponta Biluca (2017),

incide com maior frequência em bairros periféricos, refletindo a carência de infraestrutura em áreas de menor renda. Além do impacto visual, Pinto (1999) ressalta que o acúmulo de entulho em vias públicas cria barreiras à circulação, deteriorando as condições de tráfego e o bem-estar da população residente.

A superação desses impactos exige o abandono de práticas corretivas em favor de um planejamento territorial eficiente (Pinto, 1999). Nesse contexto, a adoção de metodologias baseadas em geoprocessamento para a seleção de áreas adequadas torna-se essencial, permitindo integrar variáveis ambientais, legais e logísticas para mitigar os riscos sanitários e ambientais inerentes ao manejo do RCC.

3.3 Geoprocessamento aplicado à gestão de rcc

3.3.1 Geoprocessamento e sistemas de informação geográfica: conceitos e fundamentos

O avanço tecnológico nas últimas décadas proporcionou novas formas de coletar, armazenar e analisar dados espaciais. Nesse contexto, o geoprocessamento surge como uma disciplina fundamental para o planejamento territorial e a engenharia. Segundo Câmara, Davis e Monteiro (2001), o termo Geoprocessamento “denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica”, influenciando áreas como Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes e Planejamento Urbano.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG ou GIS, do inglês *Geographic Information Systems*) são as ferramentas computacionais que permitem realizar análises complexas, com capacidade de “fazer captura, entrada, manipulação, transformação, visualização, consulta, análise, modelagem e saída de dados”, conforme aponta Dalmas (2008). Câmara, Davis e Monteiro (2001) explicam que os SIGs operam integrando dados de diversas fontes, criando um banco de dados georreferenciado. Essa capacidade de integração é o que diferencia um SIG de sistemas de desenho assistido por computador (CAD) ou de simples bancos de dados, pois permite a realização de operações espaciais e a visualização de relacionamentos geográficos.

Na engenharia civil e no planejamento urbano, o uso dessas tecnologias mostra-se eficaz para a tomada de decisão. A capacidade de cruzar informações

sobre relevo, hidrografia, uso do solo e infraestrutura permite otimizar projetos e mitigar impactos ambientais. Conforme apontado por Dalmas (2008), o geoprocessamento oferece um suporte robusto à gestão, permitindo simulações e a visualização de cenários que, de outra forma, seriam de difícil compreensão apenas com dados tabulares ou mapas estáticos.

3.3.2 Aplicação de geotecnologias na gestão de resíduos sólidos

A aplicação do geoprocessamento na gestão de resíduos sólidos tem se mostrado uma estratégia eficaz para enfrentar os desafios do crescimento urbano e da geração excessiva de rejeitos. Felicori *et al.* (2016) destacam que a utilização de Sistemas de Informação Geográfica tem se mostrado uma ferramenta eficiente na identificação de áreas para a disposição de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), especialmente quando associada a técnicas de Análise de Multicritério.

Uma das principais aplicações refere-se à seleção de locais para a implantação de aterros sanitários e usinas de triagem. Este processo é complexo, pois deve obedecer a uma série de restrições legais e ambientais. Amaral e Lana (2017) corroboram essa visão, demonstrando em seu estudo de caso que as técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG são fundamentais para auxiliar a tomada de decisão, permitindo a exclusão precisa de áreas impróprias, como aquelas próximas a recursos hídricos ou unidades de conservação, e a identificação segura de locais com aptidão física e legal para receber resíduos.

Além da localização de aterros, o geoprocessamento é essencial para o diagnóstico da situação atual dos resíduos em um município. Biluca (2017) utilizou o geoprocessamento para mapear áreas de disposição irregular de RCC, demonstrando como a ferramenta pode auxiliar na fiscalização e no entendimento da dinâmica de descarte clandestino. A autora ressalta que o mapeamento das áreas de deposição irregular de RCC permitiu a visualização da distribuição espacial dos pontos de descarte, possibilitando a identificação dos locais mais críticos e a definição de estratégias para a limpeza e fiscalização dessas áreas.

Outra aplicação relevante é a otimização da localização de Pontos de Entrega Voluntária (PEVs). Freitas (2020) utilizou modelos de localização-alocação em ambiente SIG para propor uma distribuição otimizada de PEVs, visando maximizar a cobertura de atendimento e minimizar as distâncias percorridas pelos geradores.

Dessa forma, a tecnologia não apenas auxilia no planejamento de novas infraestruturas, mas também na gestão corretiva e no monitoramento ambiental contínuo, fornecendo subsídios técnicos para a administração pública.

3.3.3 Técnicas e softwares de geoprocessamento

Para a execução dessas avaliações no ambiente SIG, empregam-se técnicas de Álgebra de Mapas e modelagem de dados. Nesse contexto, a Análise Multicritério destaca-se como método essencial para tomadas de decisão que envolvem variáveis complexas. A fundamentação dessas análises baseia-se frequentemente na distinção entre a lógica Booleana e a lógica *Fuzzy*, conforme abordado por Câmara, Davis e Monteiro (2001):

- a) Lógica Booleana: Aplicada quando os critérios são definidos por regras determinísticas. O modelo resulta em mapas binários onde cada ponto espacial satisfaz ou não as condições estabelecidas.
- b) Lógica *Fuzzy*: Indicada para lidar com a ambiguidade e a abstração de fenômenos empíricos onde não é possível definir bordas rígidas entre classes. Segundo Burrough e McDonnell (1998, apud Câmara; Davis; Monteiro, 2001), essa metodologia permite caracterizar classes de maneira contínua, adequando-se melhor à complexidade de variáveis ambientais.

Para integrar múltiplos critérios com diferentes escalas de importância, utiliza-se a Combinação Linear Ponderada (CLP). Este método consiste na padronização dos fatores e na sua multiplicação por pesos específicos, seguida da soma dos resultados para gerar um mapa final de adequabilidade (Biluca, 2017). Diferente da lógica Booleana restritiva, a CLP permite que critérios com alto desempenho compensem aqueles com baixo desempenho, fornecendo um índice mais equilibrado.

Para integrar esses múltiplos objetivos e critérios, frequentemente conflitantes, utiliza-se o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*). De acordo com Biluca (2017), a integração do AHP com SIG possibilita espacializar a importância relativa de cada critério, gerando mapas de aptidão que refletem as prioridades dos tomadores de decisão. Felicori *et al.* (2016) corroboram essa abordagem, reforçando que a análise multicritério permite atribuir pesos a fatores distintos, resultando em mapas de favorabilidade.

Quanto às ferramentas computacionais, a literatura aponta o uso concomitante

de plataformas proprietárias e livres. O software ArcGIS é citado por Campos (2010) e Felicori *et al.* (2016) como ferramenta robusta para o processamento de dados vetoriais e matriciais. Em contrapartida, softwares livres como o QGIS demonstram capacidade técnica equivalente para processar dados de altimetria, hidrografia, malha viária e uso do solo, viabilizando as análises propostas sem custos de licenciamento.

4 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho fundamentou-se na aplicação de técnicas de Análise Multicritério em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica. O estudo foi estruturado em três etapas principais: (i) aquisição e pré-processamento da base de dados cartográfica; (ii) definição e normalização dos critérios de restrição (lógica booleana) e aptidão (lógica *fuzzy*); e (iii) integração ponderada dos fatores para a geração do mapa síntese de aptidão. As etapas detalhadas são descritas a seguir.

4.1 Abordagem metodológica

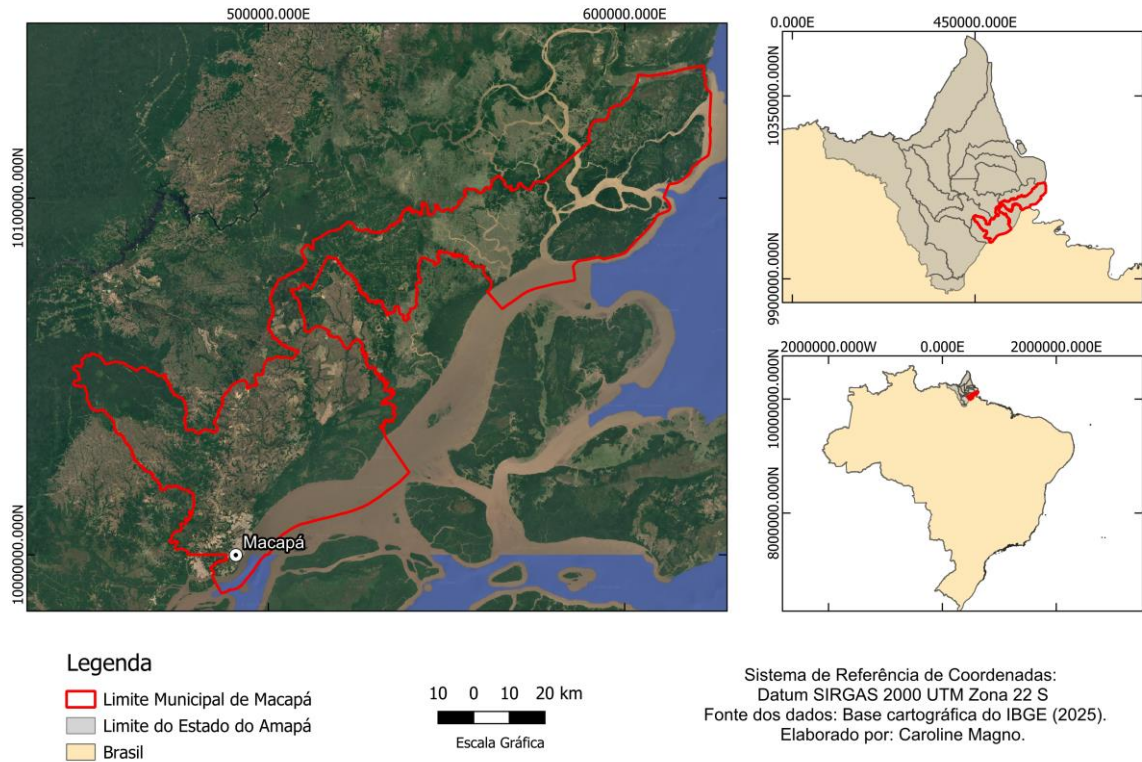
A pesquisa possui caráter exploratório e descritivo, com abordagem quali-quantitativa. Segundo Gil (2002), a pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema, sendo apropriada para temas que carecem de maiores investigações locais, como é o caso da destinação final de resíduos em Macapá. O viés descritivo fundamenta-se na caracterização dos dados espaciais e no estabelecimento de relações entre as variáveis ambientais e urbanas.

A integração de procedimentos qualitativos e quantitativos justifica-se pela necessidade de interpretar normativas legais e, simultaneamente, processar métricas de aptidão territorial. Essa combinação metodológica é consolidada em estudos de gestão de resíduos apoiados por geotecnologias, conforme observado nas pesquisas de Simões (2009), Felicori *et al.* (2016), Biluca (2017) e Freitas (2020).

4.2 Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido no município de Macapá, capital do estado do Amapá, situado na região Norte do Brasil, como ilustra o mapa da Figura 3. Localizado na margem esquerda do rio Amazonas, o município integra a zona costeira estuarina do estado, exercendo papel central na dinâmica socioeconômica da região (Silva Junior *et al.*, 2022). O município possui uma área aproximada de 6.563,8 km² e uma população de 442.993 habitantes, conforme dados do Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2023).

Figura 3 – Mapa de localização do município de Macapá-AP

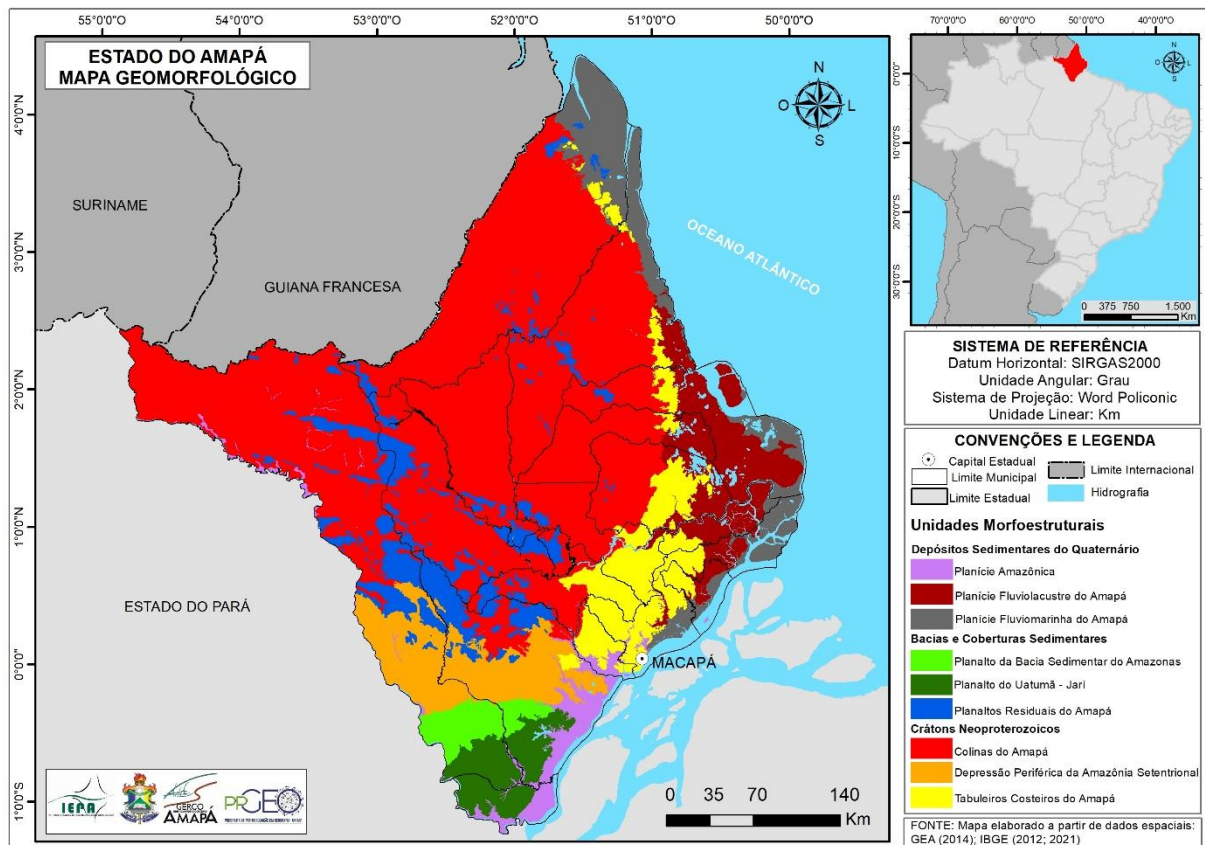


Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Sob o aspecto climático, a área insere-se no domínio equatorial úmido, caracterizado por temperaturas médias elevadas, baixa amplitude térmica anual e regimes pluviométricos intensos, com precipitações anuais que superam 2.500 mm (Silva Junior *et al.*, 2022). A sazonalidade é marcada por dois períodos distintos: um chuvoso, de janeiro a junho, e de estiagem, no segundo semestre (IEPA, 2008).

Já no aspecto geomorfológico, a Figura 4 mostra que o município assenta-se sobre um relevo predominantemente plano a suave ondulado, constituído pela interface de três unidades principais: a Planície Flúvio-Marinha, a Planície Flúvio-Lacustre e os Tabuleiros Costeiros (IEPA, 2008).

Figura 4 – Mapa geomorfológico do estado do Amapá



Fonte: Silva Junior *et al.* (2022).

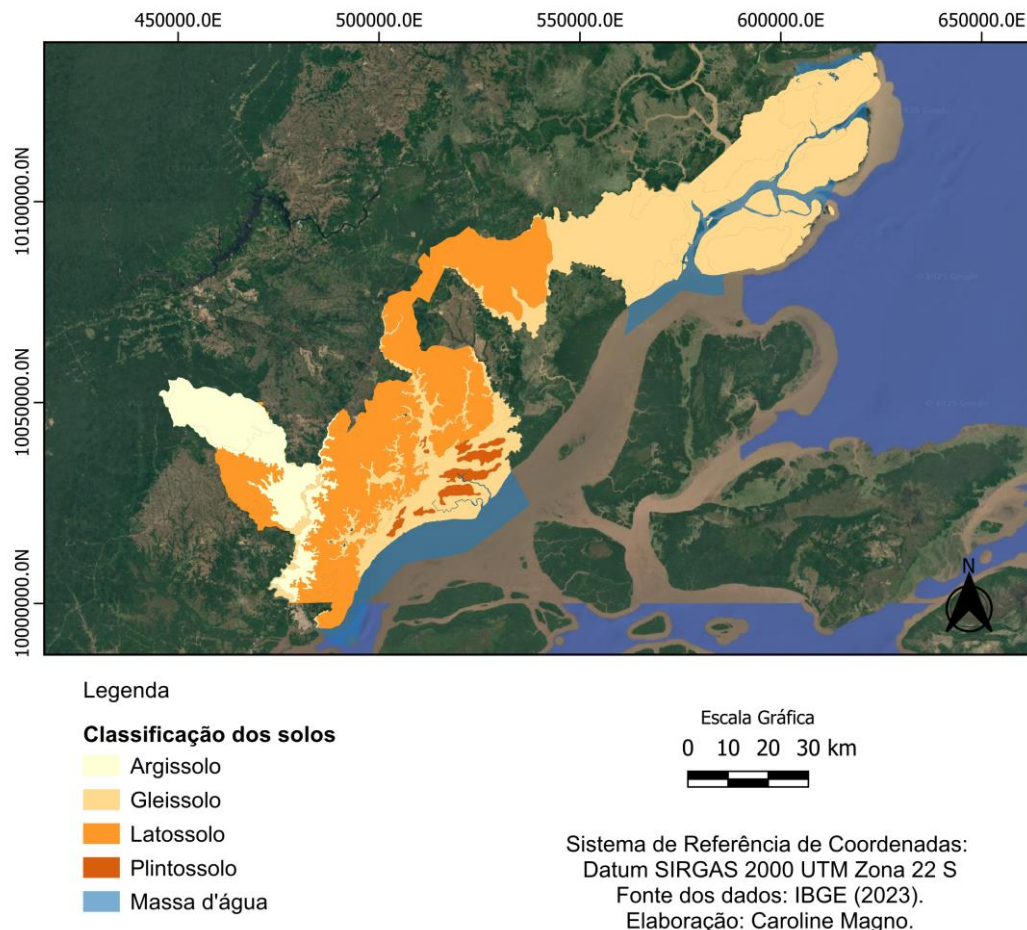
Os Tabuleiros Costeiros, modelados sobre o substrato sedimentar do Grupo Barreiras, configuram os domínios de terra firme, cujas cotas altimétricas ligeiramente mais elevadas os isentam da influência direta das inundações (Silva Junior *et al.*, 2022; Amapá, 2023). Em contraste, as outras duas unidades impõem severas restrições ao uso do solo. A Planície Flúvio-Marinha abrange as terras baixas litorâneas, sujeitas à dinâmica das marés e instabilidade sedimentar. Já a Planície Flúvio-Lacustre caracteriza-se pela presença de sedimentos inconsolidados de origem aluvionar (Silva Junior *et al.*, 2022; IEPA, 2022).

Quanto aos aspectos pedológicos, a distribuição dos solos reflete diretamente os aspectos geomorfológicos. Nos Tabuleiros Costeiros, predominam os Latossolos, identificados pelo horizonte B Latossólico. Segundo o Manual Técnico de Pedologia do IBGE (2007), essa característica confere ao solo grande profundidade, estrutura granular e elevada permeabilidade, atributos que garantem a estabilidade geotécnica necessária para aterros. Em contrapartida, as áreas de Planície são dominadas por Gleissolos, definidos pela presença do horizonte Glei nos primeiros níveis superficiais. Essa classe caracteriza-se pela condição de hidromorfismo e saturação permanente,

típica de ambientes de sedimentação recente submetidos a alagamentos periódicos (Silva Junior *et al.*, 2022; IBGE, 2007).

O mosaico pedológico é complementado pela ocorrência de Argissolos e Plintossolos em zonas de transição. Os Plintossolos, especificamente, apresentam horizonte Plíntico com acumulação de ferro e alumínio, que pode restringir a permeabilidade vertical e dificultar a escavação quando endurecida, impondo limitações operacionais específicas. Ocorrem também os Argissolos, definidos pela presença de horizonte B Textural com incremento de argila em profundidade (IBGE, 2007). O mapa da Figura 5 retrata a realidade dos aspectos de solos em Macapá.

Figura 5 – Mapa de solos do município de Macapá-AP



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Essa configuração física, associada à alta pluviosidade e à topografia plana, dá origem a um complexo sistema de áreas úmidas urbanas, localmente denominadas 'ressacas'. Conforme estabelecido pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Macapá (Lei Complementar nº 026/2004), essas áreas são definidas

como bacias naturais de acumulação, fundamentais para o equilíbrio ambiental e para a macrodrenagem da cidade. Elas atuam como zonas de amortecimento, recebendo o excedente das águas pluviais e suportando a influência das marés do Rio Amazonas (Macapá, 2004; Amapá, 2023). Dada a sua vulnerabilidade ecológica e a presença de lençol freático aflorante, as ressacas constituem áreas de restrição legal para a ocupação urbana e, sobretudo, para a implantação de empreendimentos de alto impacto ambiental.

4.3 Levantamento de dados

A base de dados foi constituída a partir de fontes primárias e secundárias, abrangendo documentos normativos, cartografia vetorial e raster. Foram consultadas as legislações pertinentes ao tema, incluindo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), a Resolução CONAMA nº 307/2002, as NBR 15.113/2004 e NBR 13.896/1997 da ABNT e o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Macapá (Lei Complementar no 026/2004), além da Lei Federal n.º 9.985/2000.

Os dados geospaciais, referentes aos limites municipais, sistema viário, hidrografia, uso e cobertura do solo, núcleos populacionais, aspectos pedológicos e unidades de conservação, foram obtidos por meio da base cartográfica contínua do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da base cartográfica contínua de um projeto conjunto do Governo do Estado do Amapá (GEA) e o Exército Brasileiro. Para a análise topográfica, utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido pelo TOPODATA/INPE (2008), com resolução de 30m. Por fim, foram consultados bibliografias e estudos de casos que auxiliaram na definição de critérios e parâmetros de análise.

4.4 Processamento dos dados

O tratamento dos dados espaciais foi realizado em ambiente SIG, utilizando o software QGIS (versão 3.40). A etapa inicial consistiu na padronização do Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) das bases cartográficas no datum SIRGAS 2000, zona UTM 22S, garantindo a compatibilidade entre os arquivos vetoriais e *rasters*.

Posteriormente, realizou-se a checagem e correção topológica dos vetores para eliminar sobreposições e geometrias inválidas, seguida pelo recorte espacial dos

dados, conforme o limite administrativo do município. As variáveis de distância, como hidrografia, rodovias e núcleos populacionais, foram processadas através de ferramentas de proximidade, gerando superfícies contínuas rasterizadas com resolução espacial padronizada, de 30m, para a etapa subsequente de álgebra de mapas. Esses procedimentos foram adotados conforme descrito em estudos semelhantes, que abordam o pré-tratamento dos dados como etapa integrante da análise multicritério.

4.5 Análise multicritério

A análise multicritério constituiu o núcleo do geoprocessamento, permitindo a integração de variáveis de naturezas distintas. Para este estudo, foram selecionados sete fatores determinantes, baseados principalmente na NBR 15.113/2004 e na NBR 13.896/1997, para subsidiar os parâmetros de segurança, além da literatura especializada: áreas inundáveis, unidades de conservação, declividade, hidrografia, núcleos populacionais, infraestrutura viária e pedologia. Cada fator foi tratado conforme suas especificidades de restrição ou aptidão.

A primeira etapa da análise utilizou a lógica booleana para identificar as áreas inaptas. Este método atribui valores binários às áreas, sendo 0 para locais inaptos (com restrição) e 1 para locais aptos. A sobreposição dessas camadas resultou na exclusão imediata das áreas que não atendem às normativas vigentes.

Em seguida, as áreas não excluídas na etapa de restrição booleana foram avaliadas quanto ao seu grau de aptidão utilizando a lógica *fuzzy*. Diferente da lógica binária, este método normaliza os valores das variáveis em uma escala contínua, o que possibilitou a normalização das variáveis em uma escala comum.. Para este estudo, adotou-se uma escala de valores inteiros entre 0 e 10, onde 0 representa a menor aptidão e 10 a máxima aptidão. Os fatores foram normalizados por meio de reclassificação de tabelas, aplicando-se conceitos de funções de pertinência *fuzzy* e pontos de controle adequados à realidade local e à literatura consultada.

4.5.1 Áreas inundáveis

Considerando as particularidades fisiográficas de Macapá, adotou-se a restrição total das áreas inundáveis. Esta medida visa salvaguardar os ecossistemas

de 'ressaca' e zonas de elevada fragilidade ambiental, como o Arquipélago do Bailique. A exclusão dessas áreas justifica-se não apenas pela sua função na macrodrenagem urbana, mas também pela predominância de solos hidromórficos, que apresentam baixa capacidade de suporte e nível freático aflorante, características consideradas restritivas segundo critérios técnicos estabelecidos pelas normas aplicáveis. Ademais, tal restrição atende aos dispositivos de proteção ambiental estabelecidos pelo Plano Diretor de Macapá e pela Lei Estadual nº 835/2004.

4.5.2 Unidades de Conservação

O critério de restrição legal abrangeu a exclusão integral das Unidades de Conservação (UC) mapeadas na área de estudo. A vedação aplica-se às categorias de proteção integral e de uso sustentável, em conformidade com a Lei Federal n.º 9.985/2000 (SNUC). A restrição justifica-se pela incompatibilidade entre a atividade de disposição final de resíduos sólidos, classificada como de alto potencial poluidor, e os objetivos de conservação e manejo sustentável preconizados pela legislação ambiental.

4.5.3 Declividade

O MDE obtido através do acervo TOPODATA/INPE (2008) foi convertido em um raster de declividade em porcentagem, para fins de análise do terreno do município para posterior análise de aptidão. Sua classificação foi baseada na Tabela 1, de relevos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2018).

Tabela 1 – Classes de relevo segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Classe de Relevo	Declividade
Plano	0 – 3%
Suave ondulado	3 – 8%
Ondulado	8 – 20%
Forte ondulado	20 – 45%
Montanhoso	45 – 75%

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2018).

Na análise booleana, as declividades menores que 1% foram classificadas como inaptas, assim como as áreas com declividade superior a 30% (ABNT, 1997). Para a normalização do parâmetro, optou-se pela aplicação de uma lógica *fuzzy* decrescente para valorizar os terrenos com inclinação suave. A classificação das declividades seguiu as classes da Tabela 2.

Tabela 2 – Pontuação *fuzzy* para o critério declividade.

Inclinação	Valor
1% a 5%	10
>5% a 10%	8
>10% a 20%	6
>20% a 30%	2

Fonte: Adaptado de Biluca (2017).

4.5.4 Hidrografia

Em consonância com a NBR 15113/2004, que estabelece diretrizes para projetos de aterros de resíduos da construção civil, e adotando como parâmetro de segurança os critérios da NBR 13.896/1997, foi definida uma zona de exclusão, com a criação de um buffer de 200 metros no entorno de quaisquer corpos d'água.

Nas áreas remanescentes, utilizou-se o conceito de função sigmoideal crescente para normalização do critério. Considerou-se que a aptidão aumenta proporcionalmente à distância dos recursos hídricos, oferecendo maior segurança ambiental contra contaminação (Biluca, 2017). Desta forma, as áreas aptas foram reclassificadas em faixas progressivas de 100 metros, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Pontuação *fuzzy* para distâncias de hidrografias.

Distância	Valor
200 a 300 m	2
>300 a 400 m	4
>400 a 500 m	6
>500 a 600 m	8
>600 m	10

Fonte: Adaptado de Biluca (2017).

4.5.5 Núcleos populacionais

Para a delimitação das áreas de restrição em relação aos núcleos populacionais urbanos e rurais, é exigido minimização de impactos sociais e ambientais na implantação de aterros de resíduos da construção civil (ABNT, 2004b). Adotando um critério conservador baseado na NBR 13.896/1997, definiu-se uma zona de exclusão de 500 metros.

Na análise de aptidão das áreas remanescentes, adotou-se uma lógica *fuzzy*, onde a aptidão é baixa muito próxima à cidade, atinge o pico de aptidão em distância intermediária, e decai novamente em grandes distâncias devido à inviabilidade econômica do transporte e desestimulam a disposição correta (Biluca, 2017). Assim, as classes de adequabilidade foram definidas em intervalos de 2.000 metros conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Pontuação *fuzzy* para distância dos núcleos populacionais.

Distância	Valor
500 – 2500 m	4
>2500 – 4500 m	6
>4500 – 6500 m	8
>6500 – 8500 m	10
>8500 – 10500 m	8
>10500 – 12500 m	6
>12500 – 14500 m	4

Fonte: Adaptado de Biluca (2017).

4.5.6 Vias e rodovias

Embora a NBR 15113/2004 não estipule distâncias mínimas de afastamento, ela preconiza que o empreendimento deve possuir acesso facilitado e condições de tráfego em qualquer época do ano. Contudo, visando a segurança viária e a mitigação de impacto visual, definiu-se uma zona de exclusão de 400 metros a partir do eixo das vias e rodovias.

Para a valoração das áreas remanescentes, aplicou-se uma função de pertinência linear decrescente. A classificação seguiu os intervalos propostos por Biluca (2017), sintetizados na Tabela 5, onde a aptidão máxima ocorre logo após a

faixa de restrição, decaindo progressivamente até o limite da viabilidade econômica.

Tabela 5 – Pontuação *fuzzy* para distâncias de vias e rodovias.

Distância	Valor
400 a 1400 m	10
>1400 a 2400 m	5
>2400 a 3400 m	2
>3400 m	0

Fonte: Adaptado de Biluca (2017).

4.5.7 Pedologia

Considerando as características pedológicas descritas no item “4.1 Caracterização da área de estudo”, adotou-se a premissa de que solos com maior espessura e teor de argila funcionam como barreiras mais eficientes. Assim, os Latossolos e Argissolos receberam as maiores pontuações por oferecerem melhor suporte geotécnico e drenagem vertical. Já os Plintossolos foram penalizados devido às restrições de permeabilidade impostas pela camada plíntica, enquanto os Gleissolos foram classificados com a menor aptidão, visto que sua condição natural de hidromorfismo contraria as diretrizes de segurança da norma (IBGE, 2007; IEPA, 2008). A hierarquização final dos valores consta na Tabela 6.

Tabela 6 – Pontuação *fuzzy* para classes de solos.

Tipo de solo	Fragilidade	Classe
Latossolos	Baixa	10
Argissolos	Média	8
Plintossolos	Forte	2
Gleissolo	Muito forte	0

Fonte: Elaborado pela autora (2026)

Com o objetivo de sistematizar os parâmetros adotados na modelagem espacial, o Quadro 1 consolida os critérios de restrição (lógica booleana) e as regras de aptidão (lógica *fuzzy*), relacionando-os à sua respectiva fundamentação normativa e bibliográfica.

Quadro 1 – Síntese dos critérios ambientais, parâmetros de restrição e lógica de aptidão adotada.

Critério	Parâmetro de Restrição	Parâmetro de Aptidão	Referência
Áreas Inundáveis	Exclusão total.	Não aplicável (aptidão binária: 0 ou 1).	Plano Diretor de Macapá; Lei Est. n° 835/2004.
Unidades de Conservação	Exclusão integral de UC de proteção integral e uso sustentável.	Não aplicável (aptidão binária: 0 ou 1).	Lei n° 9.985/2000.
Declividade	Inapto se < 1% ou > 30%.	Inclinações mais suaves valorizadas (entre 1-5% valor 10).	ABNT (1997); Biluca (2017).
Hidrografia	Zona de exclusão de 200 metros.	Quanto mais longe (>600 m), maior a aptidão (Valor 10).	ABNT (1997); ABNT (2004b); Biluca (2017).
Núcleos Populacionais	Zona de exclusão de 500 metros.	Distância intermediária possui aptidão máxima. Muito perto ou muito longe perde o valor.	ABNT (1997); ABNT (2004b); Biluca (2017).
Vias e Rodovias	Zona de exclusão de 400 metros.	Quanto mais próximo, maior a aptidão.	ABNT (2004b); Biluca (2017).
Pedologia	-	Latossolos e argissolos valorizados.	IBGE (2007); IEPA (2008).

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

4.5.8 Padronização

A definição dos pesos para a Combinação Linear Ponderada não utilizou métodos matemáticos de comparação par a par (como AHP), optando-se pela atribuição direta de valores, fundamentada na síntese crítica de estudos correlatos na região Amazônica, como Aguiar (2022), Almeida *et al.* (2024), Silva (2019) e Silva Junior (2016). Contudo, a calibração final dos pesos foi ajustada qualitativamente para refletir as singularidades fisiográficas locais.

A análise comparativa demonstra que a geomorfologia local é determinante na

calibração dos pesos. Enquanto em regiões de relevo mais acidentado, como no município de Castanhal-PA, o critério Declividade assume pesos elevados (até 25%) devido aos riscos erosivos, no contexto estuarino de Macapá, este fator exerce menor influência restritiva dada a predominância de relevo plano na planície costeira (Silva, 2019; Silva Junior, 2016). Já a vulnerabilidade dos recursos hídricos exige a prioridade do critério de Hidrografia. Esta decisão é corroborada tanto pelos resultados de Silva Junior (2016) para o município vizinho de Santana-AP, quanto pela tendência observada nos estudos de Aguiar (2022) para a região metropolitana de Belém e de Almeida *et al.* no sudeste paraense (2024).

Desta forma, atribuiu-se o peso maior à Hidrografia, justificada pela elevada presença de áreas úmidas (ressacas) e influência das marés. Na sequência, a Pedologia e as Vias e Rodovias receberam pesos relevantes e equitativos. Conforme a análise de Silva (2019), a distinção entre as classes pedológicas é crítica para a segurança ambiental: enquanto os Latossolos apresentam fragilidade mínima por serem bem drenados e permeáveis, os Gleissolos possuem alta fragilidade devido à tendência natural ao encharcamento. Simultaneamente, a infraestrutura viária é determinante para a viabilidade econômica do empreendimento.

Os Núcleos Populacionais apresentaram relevância intermediária na análise e considerou-se que a zona de exclusão já garante a segurança exigida, cabendo ao peso de 15% apenas o refinamento da aptidão para minimizar conflitos de vizinhança. A equação final para a combinação dos planos de informação seguiu a distribuição de pesos da Tabela 7.

Tabela 7 – Pesos finais para a Combinação Linear Ponderada.

Fatores	Peso (%)
Hidrografia	35%
Vias e rodovias	20%
Pedologia	20%
Distância de núcleos populacionais	15%
Declividade	10%

Fonte: Elaboração própria (2026).

A expressão algébrica (1) aplicada na calculadora raster do QGIS foi definida com base no cálculo realizado por Biluca (2017).

$$CLP = \sum_{i=1}^n (X_i \cdot W_i) \quad (1)$$

Onde:

CLP = Combinação Linear Ponderada;

X_i = Valor normalizado do fator;

W_i = Peso atribuído;

n = Número total de fatores.

4.6 Mapa de aptidão

O mapa final de aptidão resultou da multiplicação aritmética entre a grade de valores contínuos, obtido pela CLP, e o mapa binário de restrições (lógica booleana). Este procedimento assegurou que qualquer área classificada como restrita recebeu automaticamente o valor zero, independentemente da sua pontuação nos demais critérios.

A CLP resultou em um índice de aptidão, variando numa escala de 0 a 10, que foi reclassificado qualitativamente para facilitar a interpretação territorial e a tomada de decisão. As classes de favorabilidade foram definidas da seguinte forma:

- a) Inapta: Correspondeu às áreas com valor 0. Representa os locais onde a implantação é legalmente proibida ou ambientalmente inviável devido à incidência de fatores excludentes (ressacas, UCs, APPs ou perímetros urbano).
- b) Baixa Aptidão: Englobou áreas que, embora não possuíssem impedimentos legais absolutos, apresentaram somatório de características desfavoráveis (notas entre 0,1 e 4,0).
- c) Média Aptidão: Referiu-se às áreas com valores intermediários (notas entre 4,1 e 7,0). Caracterizaram-se por fatores positivos contrabalanceados por fatores negativos, exigindo estudos específicos de viabilidade econômica.
- d) Alta Aptidão: Corresponde às áreas com as maiores pontuações (notas acima de 7,0). Estes locais apresentaram a convergência dos melhores cenários: distâncias seguras de corpos hídricos e núcleos habitacionais, solos com baixa permeabilidade, topografia favorável e proximidade adequada à malha viária.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os produtos cartográficos resultantes do processamento dos dados espaciais. A análise inicia-se pela avaliação individualizada de cada critério, demonstrando as áreas de restrição legal (mapas *booleanos*) e a gradação de adequabilidade (mapas *fuzzy*). Posteriormente, apresenta-se o Mapa Final de Aptidão, discutindo a distribuição espacial das áreas potenciais para a implantação do aterro de RCC em Macapá frente às condicionantes ambientais e urbanas identificadas.

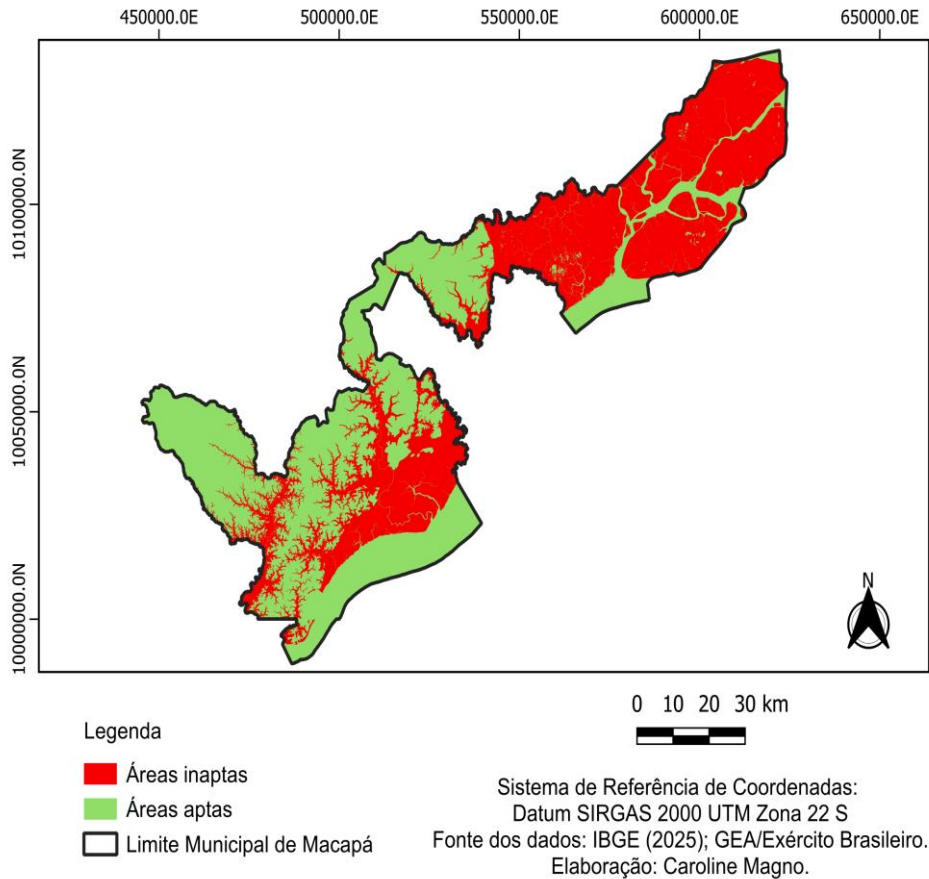
5.1 Análise multicritério

A aplicação isolada dos critérios permitiu compreender como cada variável influencia a disponibilidade territorial do município. A seguir, detalha-se o impacto espacial de cada fator, comparando as zonas de exclusão (inaptas) com as áreas remanescentes (aptas), fundamentando as decisões tomadas com base nas normas técnicas e características fisiográficas locais.

5.1.1 Análise de critério: áreas inundáveis

O mapeamento das áreas inundáveis constituiu um critério de exclusão determinante na seleção de locais para a disposição de resíduos sólidos. A aplicação deste filtro booleano resultou na segregação espacial entre os domínios de várzea e terra firme, conforme espacializado na Figura 6.

Figura 6 – Mapa booleano de restrição: Áreas Inundáveis



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A análise visual evidencia que a porção leste e nordeste do município foi classificada como inapta, representada em vermelho. Esta vasta área corresponde às planícies de inundação do município e, especificamente, ao Arquipélago do Bailique. A exclusão total da região insular justifica-se pela predominância de solos hidromórficos de baixa capacidade de suporte e pela influência direta das marés, características que contrariam as diretrizes de segurança da NBR 13.896/1997. A exclusão do Arquipélago do Bailique também se justifica pela inviabilidade logística, tendo em vista a descontinuidade territorial imposta pelo Rio Amazonas, que exigiria transporte fluvial de resíduos, elevando os custos operacionais.

Observa-se na porção continental a exclusão das áreas de ressaca, que aparecem no mapa como ramificações vermelhas que penetram as zonas de terra firme (em verde). A proteção destes ambientes atende não apenas aos critérios técnicos das normas técnicas de implantação de aterros, mas também à legislação ambiental que protege áreas úmidas e o sistema de drenagem natural.

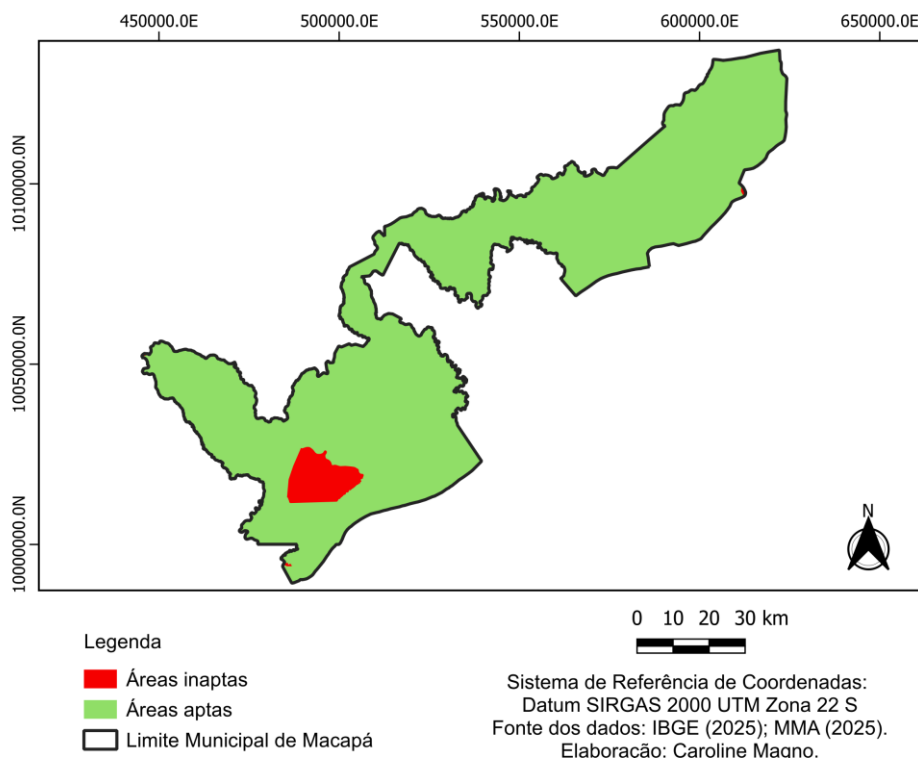
Após a aplicação desta restrição, a área remanescente apta totalizou

aproximadamente 3.266,8 km², representando 49,80% do território municipal. Este resultado confirma que as áreas inundáveis são um fator relevante do uso do solo em Macapá, direcionando a aptidão para a região oeste e norte do município, distantes da influência direta das marés estuarinas.

5.1.2 Análise de critério: Unidades de Conservação

O mapeamento das Unidades de Conservação atuou como um filtro de exclusão absoluta, respeitando as diretrizes do SNUC, Lei nº 9.985/2000. No mapa gerado da Figura 7, observa-se a delimitação da APA do Rio Curiaú, da APA da Fazendinha, a Reserva Biológica do Parazinho e uma pequena porção da Floresta Estadual do Amapá, como área inapta, em vermelho, garantindo a proteção da biodiversidade e dos recursos naturais presentes.

Figura 7 – Mapa booleano de restrição: Unidades de Conservação



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

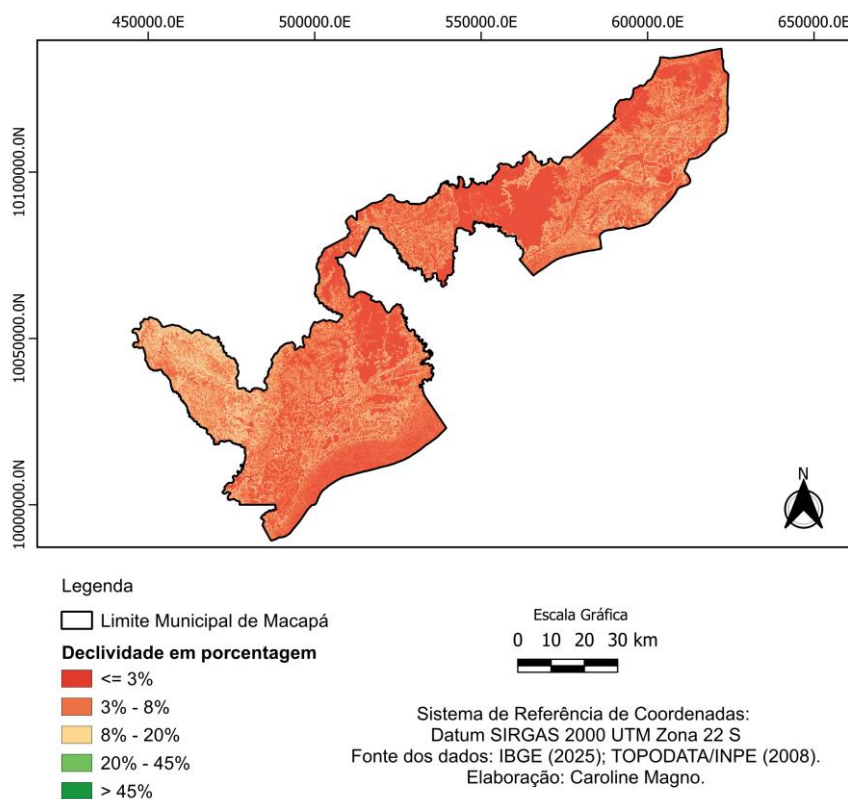
A exclusão dessas áreas serviu para evitar conflitos de uso do solo e garantir que o empreendimento não infrinja legislações ambientais de proteção integral e de uso sustentável (Brasil, 2000). Após a subtração do perímetro da unidade de

conservação, a área apta contabilizada para este critério foi de aproximadamente 6.340,6 km², preservando-se integralmente o patrimônio ambiental legalmente instituído.

5.1.3 Análise do critério: declividade

A geração do mapa de declividade em porcentagem caracterizou o município conforme detalhado na Figura 8, dividindo-o em cinco classes de relevo (Embrapa, 2018). O processamento destas classes em Macapá revelou um predomínio das formas Plano (0-3%) e Suave Ondulado (3-8%). Esta configuração topográfica é naturalmente favorável à implantação de aterros, pois minimiza a necessidade de grandes movimentações de terra. Contudo, conforme observado na descrição metodológica, a classe 'Plano' impõe a restrição das áreas com inclinação inferior a 1%, visando garantir a drenagem mínima exigida pela NBR 13.896/1997.

Figura 8 – Mapa de declividade em porcentagem.

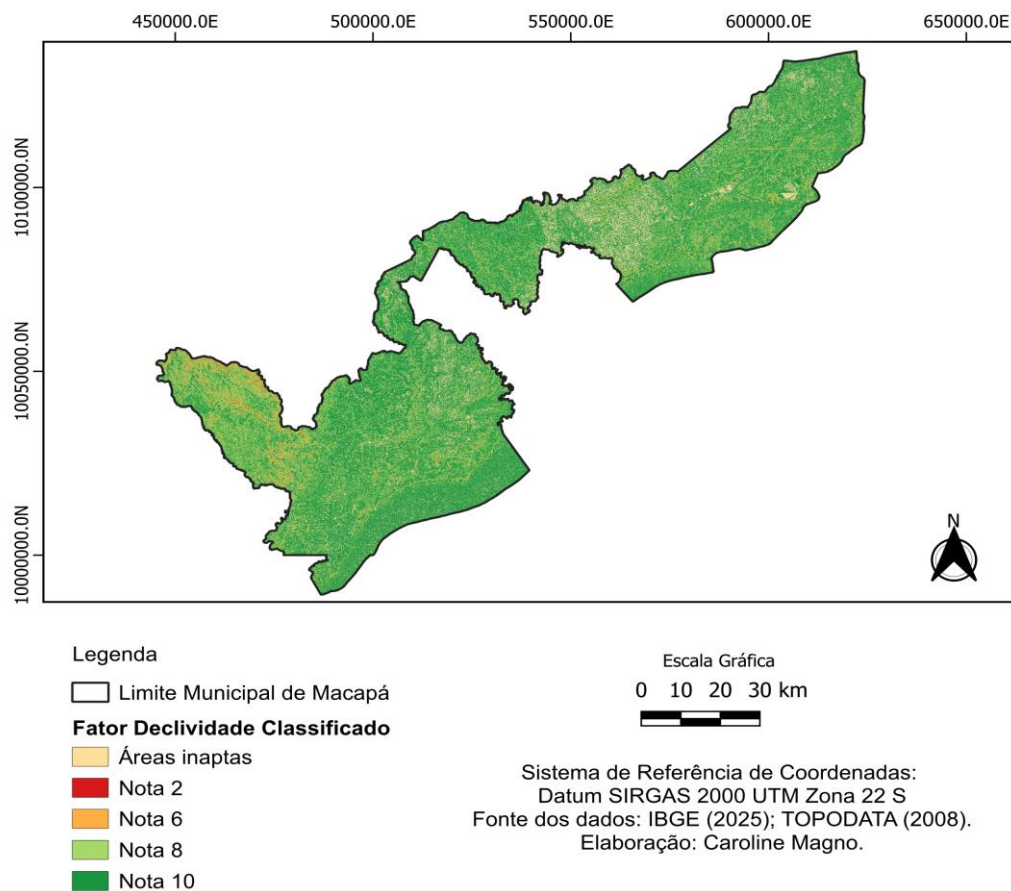


Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A aplicação da lógica booleana para este critério resultou na exclusão de aproximadamente 1.002,07 km², correspondendo a 15,28% da área total analisada.

Esta restrição, embora significativa, atuou como um filtro de qualidade, eliminando zonas propensas ao alagamento e preservando a maior parte do território municipal para a análise de adequabilidade. As áreas remanescentes foram submetidas à lógica *fuzzy* que valorizou o terreno classificado como suave e a espacialização resultante, apresentada no mapa da Figura 9, evidencia uma predominância das classes de Alta Aptidão (Notas 8 e 10), representadas nas tonalidades de verde.

Figura 9 – Mapa de aptidão normalizado pela lógica *fuzzy*: fator declividade



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A prevalência da Nota 10 indica a existência de vastas extensões territoriais com declividades ótimas, entre 1% e 5%, previstas na Tabela 2 apresentada na metodologia. Para aterros de RCC, estas inclinações são ideais pois: (i) favorecem a drenagem natural das águas pluviais; e (ii) reduzem a necessidade de grandes cortes e aterros para a preparação do terreno, otimizando os custos (Bosco, 2008).

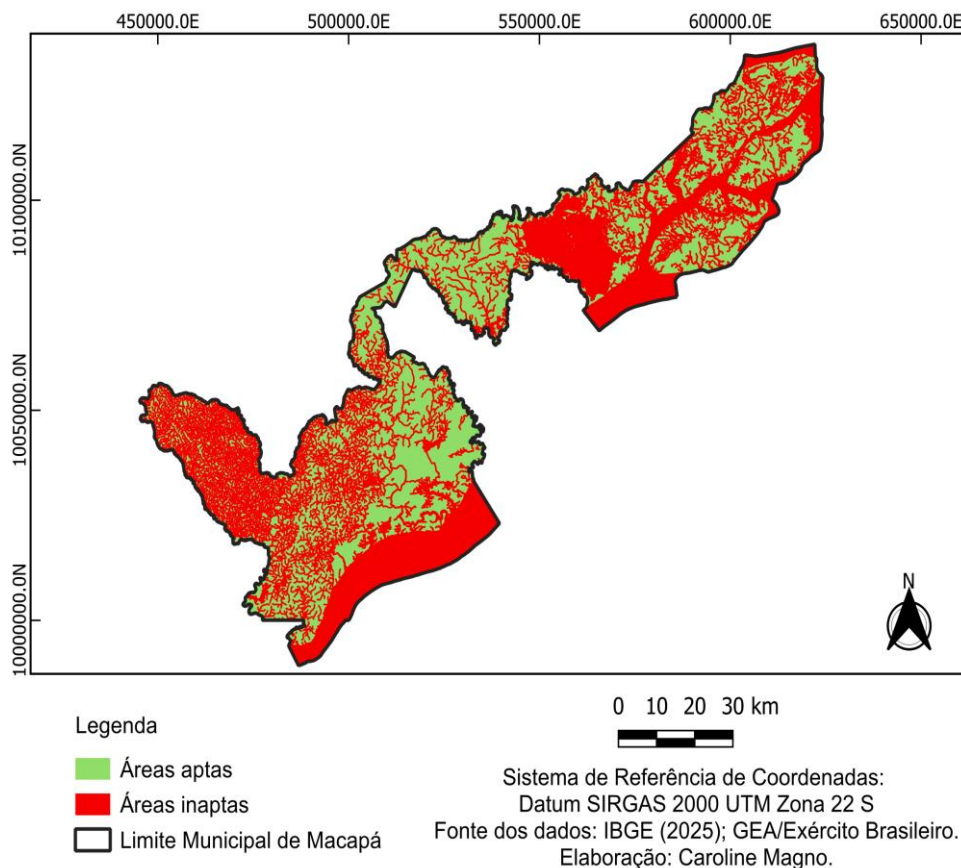
Por outro lado, as áreas classificadas com Nota 2 e 6 (vermelho e laranja) aparecem de forma dispersa e pontual, que embora não representem limitações

legais, demandariam investimentos elevados em movimentação de terra para a regularização do terreno, tornando-as menos atrativas.

5.1.4 Análise do critério: hidrografia

Em conformidade com o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), foram excluídas todas as APPs e faixas marginais de proteção de todos os corpos d'água mapeados. Adicionalmente, com a aplicação do buffer de segurança de 200 metros para a análise booleana, o processamento vetorial resultou no mapa da Figura 10.

Figura 10 – Mapa booleano de restrição: hidrografia



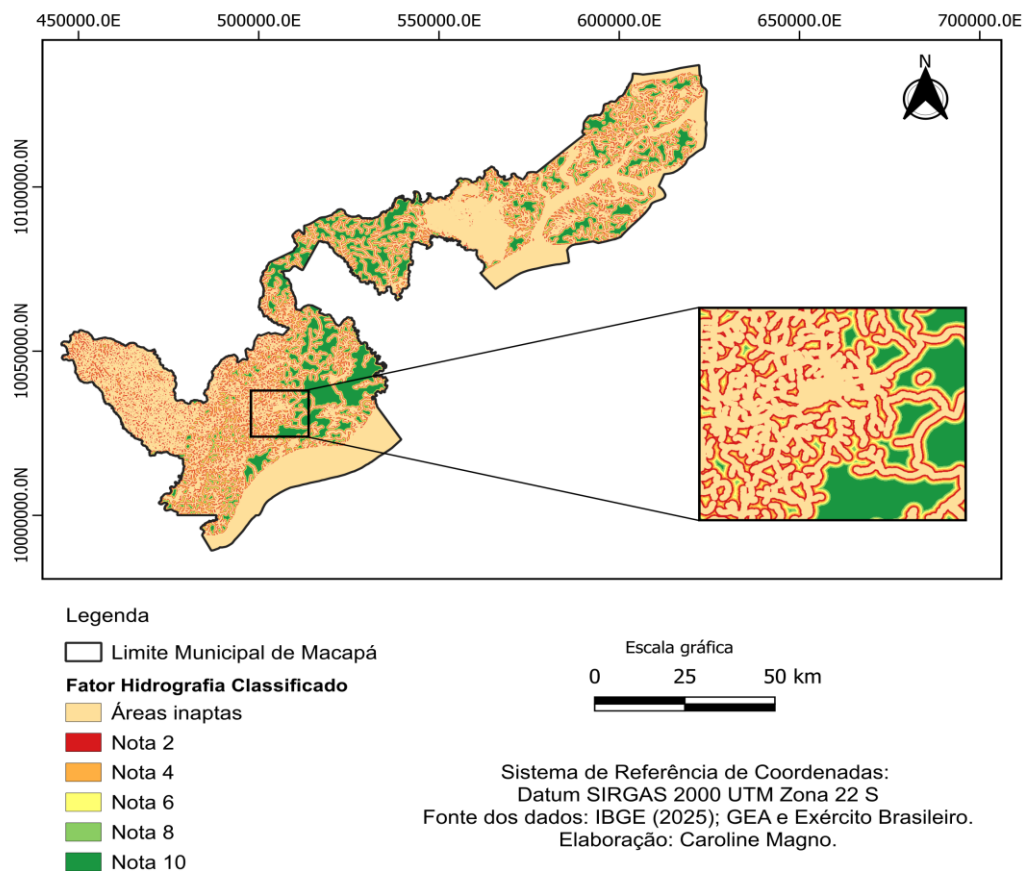
Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Esta etapa identificou uma área apta de aproximadamente 2.603,4 km², o que corresponde a 39,69% da superfície municipal. O expressivo percentual de áreas inaptas (60,31%), referente ao critério de restrição das hidrografias, reflete a elevada densidade da malha hidrográfica macapaense, característica fisiográfica que fragmenta o território e limita a disponibilidade de grandes extensões contínuas livres

de interferências hídricas.

Subsequentemente, as áreas remanescentes foram submetidas à classificação *fuzzy* para qualificar a aptidão, com o resultado apresentado no mapa da Figura 11. Adotou-se a lógica da função linear crescente, onde a aptidão se eleva proporcionalmente ao distanciamento dos corpos hídricos, com acréscimo progressivo a cada 100m.

Figura 11 – Mapa de aptidão normalizado pela lógica *fuzzy*: fator hidrografia



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

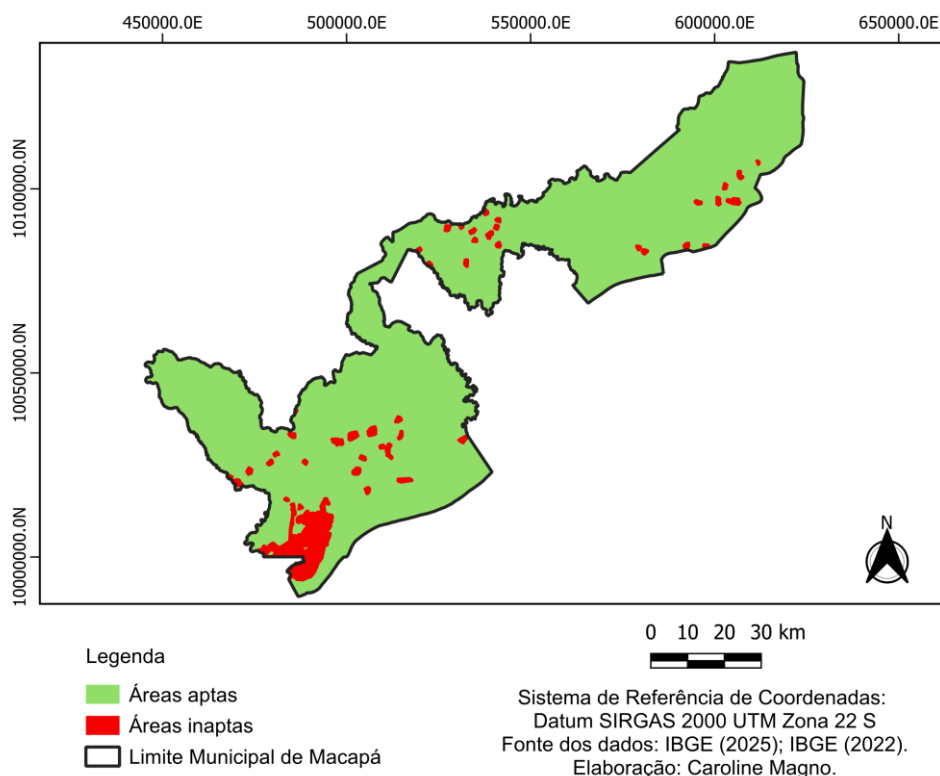
A espacialização das classes evidencia que as zonas de Alta Aptidão (Nota 10), representadas em verde escuro, coincidem com os interflúvios e divisores de águas. Já as áreas de menor nota (laranja e vermelho) denotam zonas de transição próximas aos limites das APP's; embora tecnicamente viáveis, sua utilização demandaria maior rigor nos projetos de engenharia e monitoramento ambiental intensivo.

5.1.5 Análise de critério: núcleos populacionais

Conforme preconiza a NBR 15.113/2004, a localização de aterros de resíduos sólidos da construção civil deve observar o distanciamento de núcleos habitacionais para minimizar impactos decorrentes de ruídos operacionais, vibrações e emissão de material particulado (poeira), comuns a esta atividade.

A aplicação do filtro booleano sobre os assentamentos populacionais abrangeu a totalidade das áreas habitadas, segregando a mancha urbana de Macapá e os aglomerados rurais do município. A análise resultou em uma área apta de 6.178,11 km² (94,19% do território), demonstrando que a malha de ocupação humana, embora exija faixas de proteção restritas, impacta pouco na disponibilidade global de áreas para o empreendimento. Conforme ilustrado na Figura 12, as manchas de inaptidão, em vermelho, refletem a distribuição demográfica local, resguardando populações urbanas e rurais dos potenciais impactos da operação de resíduos.

Figura 12 – Mapa booleano de restrição: núcleos populacionais

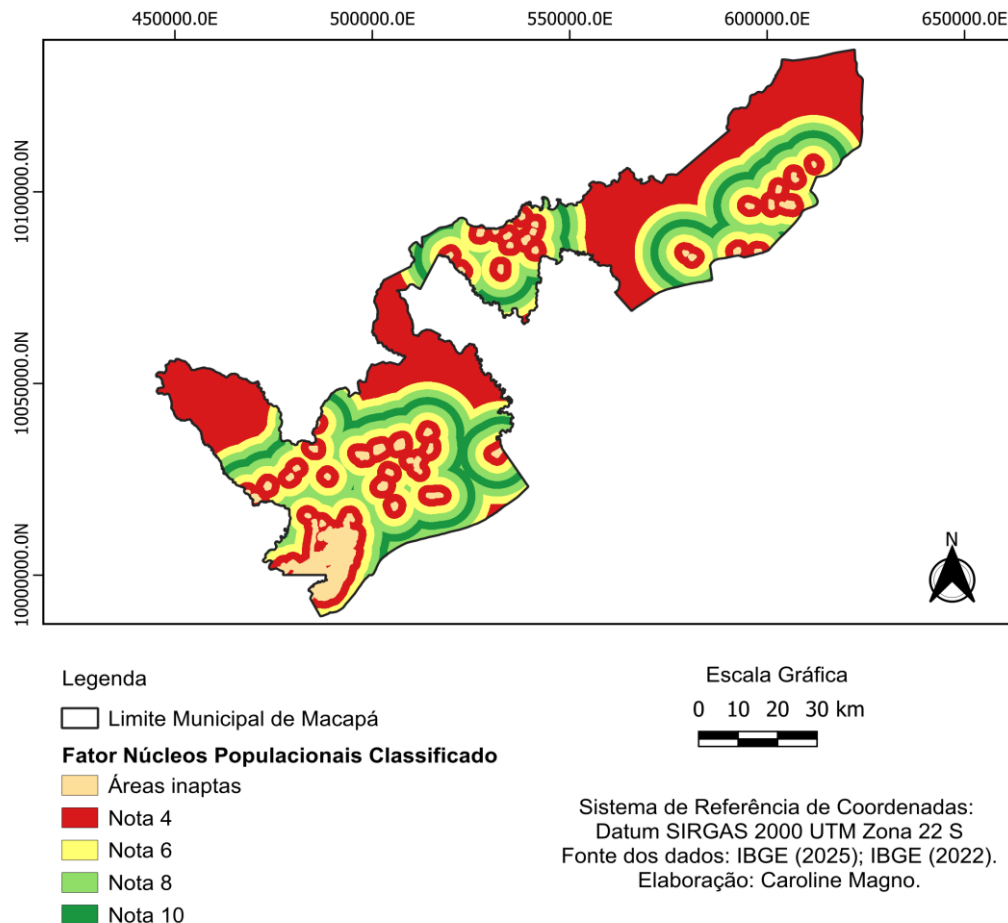


Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Para a normalização do critério, buscou-se o equilíbrio entre afastar o empreendimento da população para evitar incômodos e manter uma distância viável

para a coleta. O mapa de classificação da Figura 13 demonstra que a aptidão atinge seus níveis máximos (Notas 8 e 10) nas faixas intermediárias de distanciamento.

Figura 13 – Mapa de aptidão normalizado pela lógica *fuzzy*: fator núcleos populacionais



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

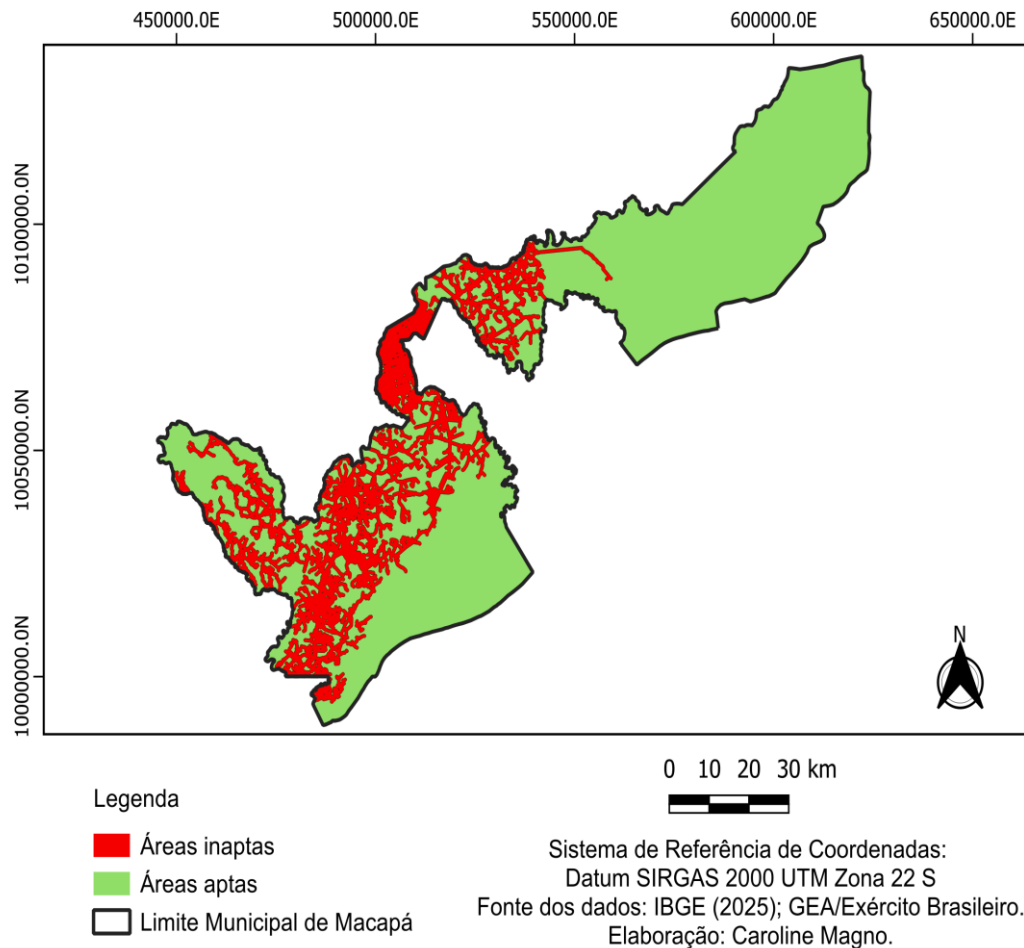
Observa-se que as zonas de Alta Aptidão dominam porções estratégicas dos setores Norte e Oeste. Esta configuração espacial é favorecida pela distribuição dispersa de comunidades rurais e periurbanas no município. Assim, as 'ilhas' de alta aptidão nessas regiões representam locais que respeitam o afastamento mínimo sanitário tanto da mancha urbana consolidada de Macapá quanto dos aglomerados rurais, sem, contudo, adentrar em zonas de isolamento excessivo que inviabilizariam economicamente o transporte.

5.1.6 Análise do critério: vias e rodovias

Na etapa de restrição legal, apresentada na Figura 14, procedeu-se à exclusão

das faixas de domínio adjacentes às rodovias federais BR-156 e BR-210, e estaduais, bem como aos arruamentos urbanos principais. O mapeamento resultou na identificação de 4.830,98 km² de áreas aptas, demonstrando que, em termos de ocupação física, a malha viária impõe pouca restritividade territorial direta.

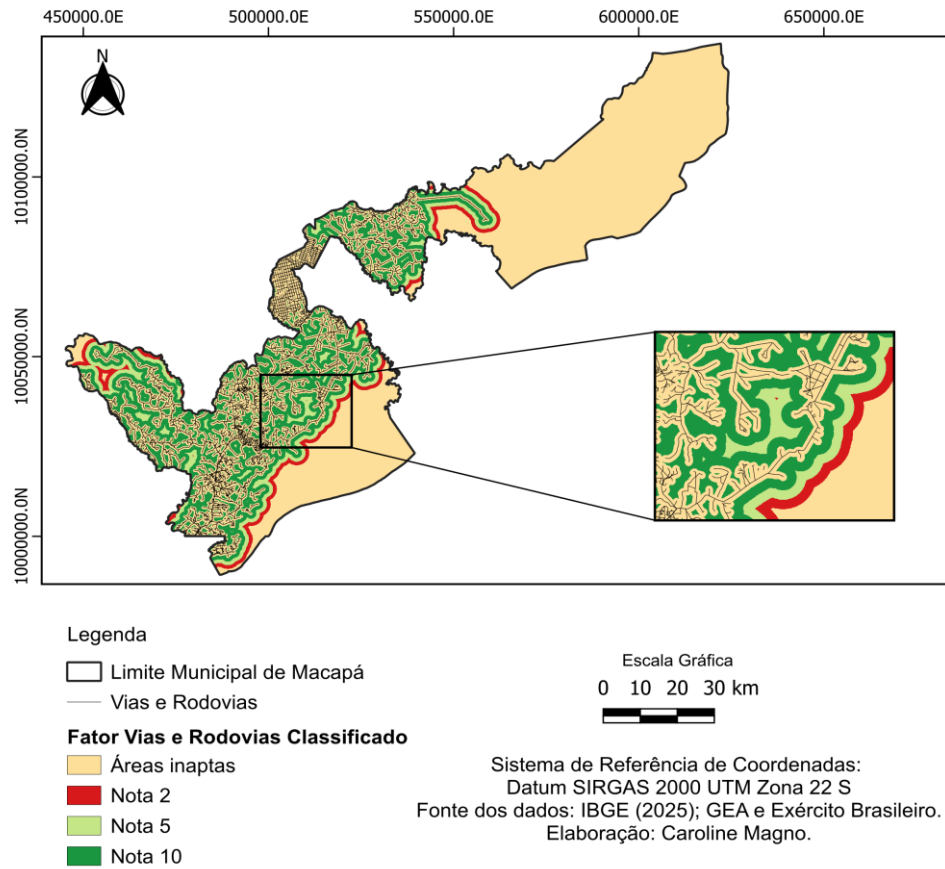
Figura 14 – Mapa booleano de restrição: vias e rodovias.



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Na etapa subsequente de classificação *fuzzy*, do mapa da Figura 15, a lógica de aptidão foi invertida em relação aos fatores ambientais: adotou-se o princípio onde a aptidão é inversamente proporcional à distância das vias. O resultado dessa etapa evidencia corredores de alta aptidão com Nota 10 margeando os eixos rodoviários. Em contrapartida, as vastas extensões na porção leste e insular do município foram classificadas como Áreas Inaptas ou de Baixa Aptidão (representadas em bege e vermelho), devido à inexistência de malha viária consolidada.

Figura 15 – Mapa de aptidão normalizado pela lógica *fuzzy*: fator vias e rodovias

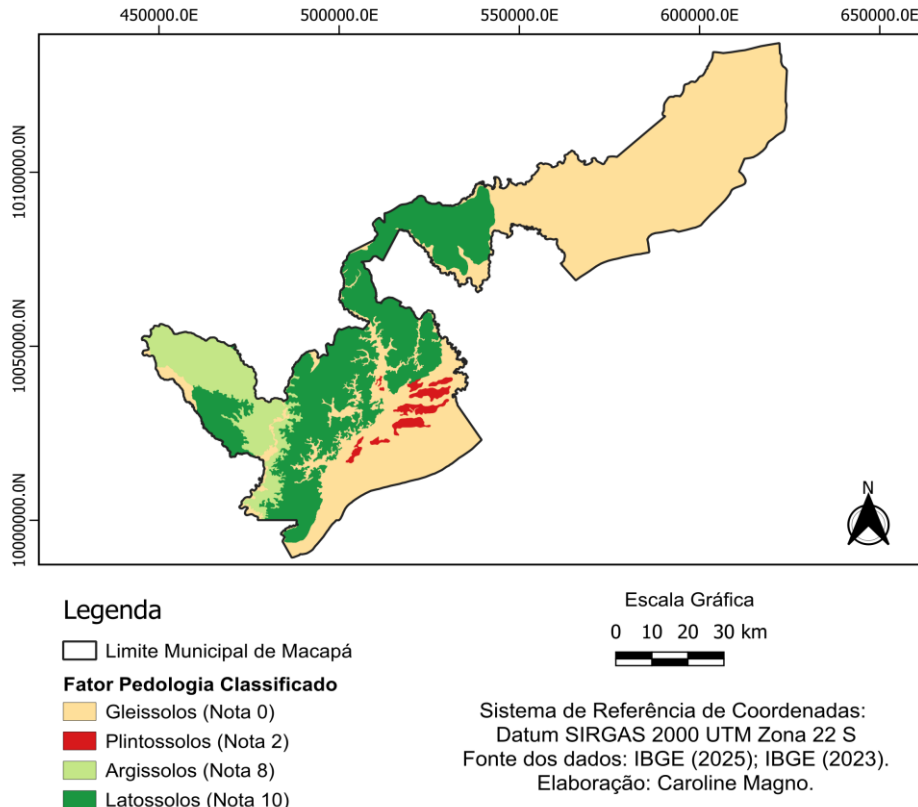


Fonte: Elaborado pela autora (2026).

5.1.7 Análise do critério: pedologia

A classificação pedológica foi utilizada como critério de aptidão geotécnica, uma vez que a permeabilidade do solo influencia diretamente o risco de contaminação do lençol freático. A espacialização dos resultados na Figura 16 revela a compartimentação territorial baseada nas propriedades dos solos.

Figura 16 – Mapa de aptidão normalizado pela lógica *fuzzy*: fator pedologia



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

As áreas de Alta Aptidão (Nota 10), representadas em verde escuro, correspondem aos Latossolos. Estes solos predominam na porção central e oeste do município, coincidindo com as áreas de terra firme mais elevadas. Geotecnicamente, os Latossolos são considerados o cenário ideal para obras de aterro devido à sua grande profundidade, excelente drenagem natural e boa estabilidade mecânica (IBGE, 2007).

Secundariamente, observam-se manchas de Argissolos (Nota 8) em verde claro. Embora aptos, estes solos receberam pontuação ligeiramente inferior devido à presença de horizonte B textural, que se caracteriza pela acumulação de argila, que pode apresentar variações de permeabilidade e maior suscetibilidade à erosão, exigindo maior controle técnico na gestão das águas pluviais (IBGE, 2007).

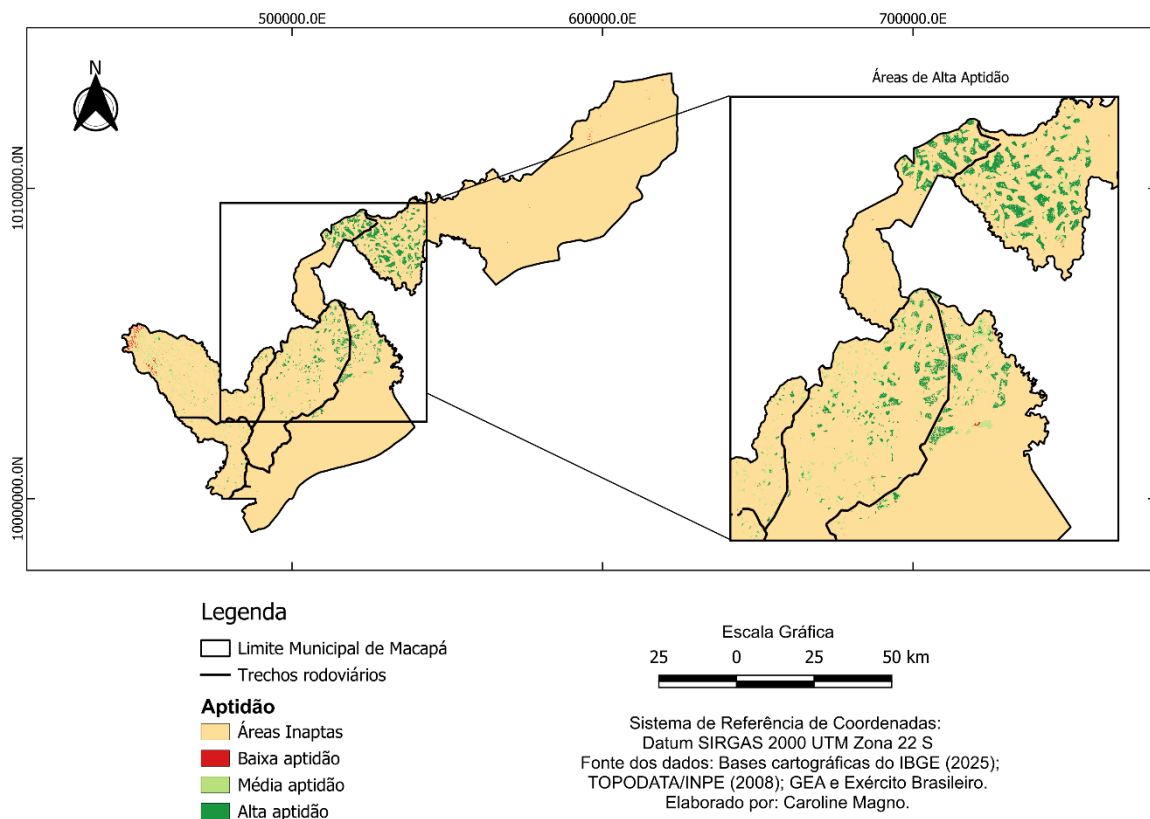
Em contraste, as classes restritivas ocupam porções significativas do território. Os Gleissolos, classificados com Nota 0 (Áreas Inaptas) e representados na cor bege, dominam a faixa costeira leste e as zonas de várzea. A inaptidão destes solos comprova sua natureza hidromórfica, permanentemente saturados ou sujeitos a alagamentos periódicos e baixa capacidade de suporte de carga (IBGE, 2007; Silva

Junior et al., 2022).

5.2 Mapa de aptidão

O mapa de aptidão final da Figura 17 constitui o produto síntese do geoprocessamento, resultante da integração ponderada dos mapas temáticos de hidrografia, pedologia, infraestrutura viária, núcleos populacionais e declividade, além dos mapas temáticos de exclusão das áreas inundáveis e Ucs.. A espacialização das classes reflete o cumprimento das diretrizes da NBR 15.113/2004 e da Resolução CONAMA nº 307/2002, identificando as zonas de maior compatibilidade territorial para a disposição final de resíduos inertes no município de Macapá.

Figura 17 – Mapa final de aptidão locacional para aterro de RCC em Macapá-AP



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A análise visual do mapa evidencia os níveis de aptidão do território. As Áreas Inaptas, representadas na cor bege, predominam expressivamente nas porções Leste e Sul do município. Em termos quantitativos, conforme a Tabela 8, verifica-se que as áreas inaptas somam 6.207,35 km², correspondendo a 95,14% do território municipal.

Este percentual elevado justifica-se pelo efeito cumulativo das restrições: embora a hidrografia, isoladamente, inviabilizasse cerca de 60% do território, a aplicação conjunta dos demais critérios restritivos resultou na ampliação significativa das zonas impróprias. Contudo, a aparente restritividade não compromete a viabilidade do município, visto que as áreas de Alta Aptidão totalizaram 147,60 km² (2,26% do território).

Tabela 8 – Quantificação das áreas por classe de aptidão.

Classe	Notas	Área (km²)	Porcentagem (%)
Inapta	0	6.207,35	95,14
Baixa aptidão	0,1 a 4,0	11,71	0,18
Média aptidão	4,1 a 7,0	157,93	2,42
Alta aptidão	7,1 a 10	147,60	2,26

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A extensão territorial de alta aptidão identificada demonstra-se estratégica quando correlacionada às diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 307/2002. As áreas classificadas como de 'Alta Aptidão' constituem os locais tecnicamente preferenciais para a implantação de Aterros de RCC, pois asseguram o pleno atendimento aos critérios de isolamento ambiental e suporte geotécnico preconizados pela NBR 15.113/2004. Em contrapartida, sugere-se que as zonas de 'Média Aptidão' sejam avaliadas para a instalação de infraestruturas de Áreas de Transbordo e Triagem. Por tratarem-se de unidades voltadas à logística e segregação preliminar, estas instalações apresentam maior flexibilidade locacional, permitindo sua implantação em faixas de transição mais próximas à malha urbana, o que favorece a otimização do transporte conforme as diretrizes da NBR 15.112/2004.

A configuração espacial do mapa, predominantemente restritiva, justifica-se pela rigorosa exclusão de zonas com solos hidromórficos e áreas inundáveis na faixa costeira. As zonas de alta aptidão (verde escuro) distribuem-se como polígonos irregulares concentrados nos setores Norte e Oeste. A sobreposição dos planos de informação confirma que estas áreas correspondem geomorfologicamente aos topos dos Tabuleiros Costeiros. Nestes locais, a predominância de Latossolos oferece as melhores condições de profundidade, drenagem vertical e capacidade de suporte de carga, essenciais para a estabilidade de um aterro de RCC.

O detalhe ampliado na Figura 16 corrobora a viabilidade técnica, demonstrando que, apesar do recorte imposto pelos corpos hídricos, existem polígonos contíguos de alta aptidão. Nota-se, ainda, a ocorrência pontual de descontinuidades, "ruídos" classificados como inaptos, no interior destes polígonos, reflexo da sensibilidade do Modelo Digital de Elevação sobre o relevo. A localização preferencial recai sobre os eixos rodoviários estruturantes, notadamente ao longo das rodovias federais BR-210 e BR-156, , estendendo-se às adjacências da rodovia estadual AP-070. Nessas zonas, a convergência entre acessibilidade logística e distanciamento seguro de recursos hídricos atinge os índices máximos de adequabilidade ambiental e operacional.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho atingiu seu objetivo principal de identificar e mapear as áreas de maior aptidão locacional para a implantação de um aterro de Resíduos da Construção Civil no município de Macapá, utilizando técnicas de Geoprocessamento. A integração entre a lógica Booleana e a lógica *Fuzzy* demonstrou-se uma abordagem metodológica robusta para lidar com a complexidade territorial da região amazônica, permitindo conciliar rigorosas restrições legais com a flexibilidade necessária para a tomada de decisão em engenharia.

A análise dos resultados evidenciou que a hidrografia e a geomorfologia atuam como os principais agentes condicionantes do uso do solo em Macapá. Enquanto a abordagem booleana expôs a inaptidão das porções Leste e Sul, a ponderação *fuzzy* refinou este cenário, identificando 147,60 km² (2,26% do território) de áreas de Alta Aptidão concentradas nos interflúvios dos setores Norte e Oeste. Esta extensão territorial demonstra-se estratégica para a implantação de aterros de inertes, pois oferece a convergência ideal entre estabilidade pedológica, distanciamento seguro da rede de drenagem e acessibilidade logística, situando-se convenientemente no entorno dos eixos rodoviários BR-156, BR-210 e AP-070.

No que tange às contribuições deste estudo, sob a ótica técnica, o trabalho entrega um conjunto de cartas temáticas que servem como ferramentas operacionais diretas. A metodologia permitiu não apenas dizer onde pode, mas qualificar onde é melhor. Sob a ótica científica, a pesquisa valida a aplicação de métodos de Análise Multicritério em ambientes estuarinos, demonstrando que normas padronizadas, como a NBR 15.113, ganham eficácia superior quando especializadas via lógica *fuzzy*, superando a rigidez binária que frequentemente inviabiliza projetos em regiões ricas em recursos hídricos.

Ressalta-se, contudo, as limitações enfrentadas a este estudo para orientar investigações subsequentes. A principal limitação reside na resolução espacial dos dados secundários utilizados, especialmente o Modelo Digital de Elevação e os mapeamentos pedológicos regionais, que, embora adequados para uma análise macro, podem generalizar microrelevos ou heterogeneidades locais do solo. Além disso, a modelagem priorizou variáveis físico-ambientais e infraestruturais, não incorporando nesta etapa critérios econômicos ou dinâmicas de ocupação informal recentes. Portanto, a aptidão aqui apontada indica potencialidade técnica, sendo

indispensável a realização de levantamentos topográficos de precisão e sondagens geotécnicas *in loco* para a validação definitiva dos locais.

Como recomendações para a continuidade e aprimoramento desta pesquisa, sugere-se para trabalhos futuros: a) O mapeamento específico segmentado por classe de resíduo, diferenciando áreas potenciais para aterros de inertes de áreas para usinas de reciclagem e aterros industriais; b) O desenvolvimento de um estudo de correlação volumétrica, cruzando a área disponível mapeada com a projeção de geração de resíduos (toneladas/ano), permitindo estimar a vida útil dos futuros empreendimentos.

Por fim, ressalta-se que a relevância dos resultados transcende o âmbito local. A estrutura metodológica aqui desenvolvida não se encerra em si mesma, mas propõe um modelo de análise espacial replicável, oferecendo subsídios para a formulação de políticas públicas em outros municípios do Estado do Amapá. Cidades integrantes da Região Metropolitana, como Santana e Mazagão, que compartilham das mesmas características fisiográficas e desafios de gestão da capital, podem se beneficiar diretamente desta abordagem, viabilizando inclusive futuras soluções consorciadas para a destinação final de resíduos na região.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Albert. **Aptidão de áreas para implantação de aterro sanitário na Região Metropolitana de Belém (PA): análise de multicritérios**. 2022. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2022.

ALMEIDA, Bruna *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**, [s.l], v. 17, n. 1, p. 53-80, 2024.

AMAPÁ. Governo do Estado. **Zoneamento ecológico econômico do Amapá: conhecer o que temos para crescer com equilíbrio: relatório preliminar**. Macapá: SEPLAN: SETEC: IEPA, 2023.

AMAPÁ. Governo do Estado. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Amapá: dados espaciais**. Macapá: SEPLAN: IEPA, [s.d] . Disponível em: <https://zee.portal.ap.gov.br/conteudo/dados-abertos/dados-espaciais>. Acesso em: 18 nov. 2025.

AMAPÁ. Lei nº 835, de 27 de maio de 2004. Dispõe sobre a ocupação urbana e periurbana, reordenamento territorial, uso econômico e gestão ambiental das áreas de ressaca e várzea localizadas no Estado do Amapá e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Macapá, 27 maio 2004. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/ap/lei-ordinaria-n-835-2004-amapa-dispoe-sobre-a-ocupacao-urbana-e-periurbana-reordenamento-territorial-uso-economico-e-gestao-ambiental-das-areas-de-ressaca-e-varzea-localizadas-no-estado-do-amapa-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 10 nov. 2025.

AMARAL, Diógenes; LANA, Cláudio. Uso de geoprocessamento para indicação de áreas favoráveis à construção de aterro sanitário no município de Ouro Preto (MG). **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 49, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13896**: aterros de resíduos não perigosos: critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15112**: resíduos da construção civil e resíduos volumosos: áreas de transbordo e triagem: diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15113**: resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes: aterros: diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15114**: resíduos sólidos da construção civil: áreas de reciclagem: diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2024**. São Paulo: ABRELPE, 2024. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>. Acesso em: 04 out. 2025.

AVELAR, Valter; SOUSA, Lorena. A destinação final dos resíduos sólidos urbanos no município de Macapá-Amapá. **Ciência Geográfica**, Bauru, v. 21, n. 2, p. 314-324, 2017.

BARROS, Wellington. **Nos últimos dois meses, a administração municipal retirou mais de 18 mil toneladas de resíduos sólidos da cidade**. Macapá: Secretaria Municipal de Zeladoria Urbana, 2023. Disponível em: <https://macapa.ap.gov.br/nos-ultimos-dois-meses-a-administracao-municipal-retirou-mais-de-18-mil-toneladas-de-residuos-solidos-da-cidade/>. Acesso em: 22 set. 2025.

BILUCA, Juliana. **Mapeamento e análise de áreas de destinação de resíduos de construção civil em Francisco Beltrão – PR**. 2017. 188 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

BOSCOV, Maria Eugenia Gimenez. **Geotecnia ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Disponível em: conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=545. Acesso em: 25 set. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 348, de 17 de agosto de 2004. **Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos**. Disponível em: conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=440. Acesso em: 02 fev. 2026.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 431, de 24 de maio de 2011. **Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso**. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=630. Acesso em: 02 fev. 2026.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 469, de 29 de julho de 2015. **Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Disponível em: ctpconsultoria.com.br/pdf/Resolucao-CONAMA-469-de-29-07-2015.pdf. Acesso em: 02 fev. 2026.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 25 set. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 28 maio 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 27 dez. 2025.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 10 nov. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC)**: mapa interativo. Brasília, DF: MMA, 2025. Disponível em: <https://cnuc.mma.gov.br/map>. Acesso em: 18 nov. 2025.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio. **Introdução ao geoprocessamento**: conceitos, fundamentos e aplicações. São José dos Campos: INPE, 2001.

CAMPOS, Mateus. **Geoprocessamento na localização de área para implantação de aterro de resíduos inertes e da construção civil no município de Nova Lima-MG**. 2010. 48 f. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

DALMAS, Fabrício. **Geoprocessamento aplicado à gestão de resíduos sólidos na UGRHI-11 – Ribeira de Iguape e Litoral Sul**. 2008. 157 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ENVEX ENGENHARIA E CONSULTORIA. **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (PGIRS-AT)**: produto 1: plano de trabalho. São Paulo: FABHAT, 2023

FELICORI, Thaís *et al.* Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 547-560, 2016.

FREITAS, Daniel. **Otimização de proposta de distribuição geográfica de pontos de entrega voluntária para o recebimento de resíduos da construção civil**. 2020. 52 f. Monografia (Bacharelado) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.

GIL, Antonio. **Como elaborar projetos de pesquisa?**. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA)**: pedologia. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso em: 15 nov. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2022**: panorama. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 22 set. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha de setores censitários**: divisões intramunicipais. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html>. Acesso em: 15 nov. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malhas territoriais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 15 nov. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Portal de Geociências**: downloads. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 15 nov. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS DO ESTADO DO AMAPÁ. **Macrodiagnóstico do estado do Amapá**: primeira aproximação do ZEE. Macapá: IEPA, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **TOPODATA**: banco de dados geomorfométricos do Brasil. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em: 18 nov. 2025.

MACAPÁ. **Empresa é multada em R\$ 30 mil por descarte irregular de entulho em área de resaca**. Macapá: Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 2017. Disponível em: <https://macapa.ap.gov.br/empresa-e-multada-em-r-30-mil-por-descarte-irregular-de-entulho-em-area-de-ressaca/>. Acesso em: 22 set. 2025.

MACAPÁ. Lei Complementar nº 026, de 20 de janeiro de 2004. **Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental do Município de Macapá e dá outras providências**. Macapá: Prefeitura Municipal, 2004. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-macapá-ap>. Acesso em: 04 out. 2025.

MATIAS, Alessandra. **Resíduos de construção e demolição à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2020. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2020.

NERY, Isabela *et al.* Um panorama do Estado do Amapá no que tange a disposição de resíduos sólidos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE (SINGEP), 5., 2016, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: SINGEP, 2016. P. 1-7. ISSN 2317-8302.

NEVES, Deborah *et al.* Coleta seletiva em Macapá: avanços e entraves para a implantação. In: CONGRESSO CIENTÍFICO MACAPÁ 300 ANOS, 2020, Macapá. **Anais [...]**. Macapá: Prefeitura de Macapá, 2020.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Acesso em: 07 set. 2025.

SANTOS, Humberto *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA JUNIOR, Antonio. **Utilização da análise multicritério para alocação de área(s) destinada(s) a aterro sanitário no município de Santana-AP**. 2016. 207 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) – Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2016.

SILVA JUNIOR, Orleno *et al.* **Atlas geográfico escolar do estado do Amapá**. Macapá: UNIFAP: IEPA, 2022.

SILVA, Marcus. **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. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.

SILVA, Milena. **Análise do Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil: estudo de caso**. 2021. 117 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, Paraíba.

SIMÕES, Carla. **Estudo da rede de gerenciamento de pequenos volumes de resíduos da construção civil em Belo Horizonte: uma análise espacial com o apoio de geoprocessamento**. 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.