

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ – PA

Arthur Vilena Petronilio ¹
Isabela de Aviz Lisboa ¹
Thayson Assunção da Silva de Freitas ¹
* Raisa Rodrigues Neves ¹

GEOPROCESSING APPLIED IN THE IDENTIFICATION OF AREAS FOR IMPLEMENTATION OF SANITARY LANDFILL IN THE MUNICIPALITY OF TUCURUÍ – PA

Recibido el 6 de marzo de 2024. Aceptado el 11 de diciembre de 2024

Abstract

Although the municipality of Tucuruí is considered large, it still faces many challenges in meeting the mandatory National Solid Waste Policy related to the deactivation of the areas unsuitable for solid waste disposal and the implementation of a sanitary landfill, considered, in this Law, the environmentally appropriate form of disposal. This research was carried out to provide support to municipal managers regarding the selection of suitable areas for the installation of this project. In this sense, this work consisted of carrying out a selection of areas in the territory of the municipality of Tucuruí in the State of Pará, which are suitable, according to the criteria established in this research, for the implementation of a landfill project for urban solid waste. The methodology used was based on obtaining information through literature review, study of relief, topography, hydrology and proximity to the urban core, and data processing through geoprocessing programs, divided into two stages: surveys of potential areas for the implementation of the landfill in the municipality and evaluation of all areas within the zone of greatest potential, enabling the choice of the best area for the implementation of a sanitary landfill.

Keywords: geographic information system, urban solid waste, landfill.

¹ Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Brasil.

*Autor correspondente: Universidade Federal do Pará, Brasil. Campus Universitário de Tucuruí – PA, Faculdade de Engenharia Civil, Rodovia BR 422 km 13 – Canteiro de Obras UHE - Vila Permanente, Tucuruí – PA, 68464-000. Email: raisaneves@ufpa.br

Resumo

Embora o município de Tucuruí seja considerado de grande porte, ainda enfrenta muitos desafios para atender a obrigatoriedade da Política Nacional de Resíduos Sólidos relacionada a desativação de áreas impróprias para o descarte dos resíduos sólidos e implantação de aterro sanitário, considerada, nesta Lei, a forma de disposição ambientalmente adequada. Essa pesquisa foi realizada para fornecer suporte aos gestores municipais quanto à seleção de áreas aptas para a instalação desse empreendimento. Nesse sentido, este trabalho consistiu em realizar uma seleção das áreas do território do município de Tucuruí no Estado do Pará, que sejam adequadas, segundo os critérios estabelecidos nessa pesquisa, para a implantação de projeto de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos. A metodologia utilizada foi feita com obtenção de informações através da revisão de literatura, estudo do relevo, topografia, hidrologia e proximidade ao núcleo urbano, e processamento de dados através de programas de geoprocessamento, dividindo-se em duas etapas: levantamentos das zonas potenciais para a implantação do aterro no município e avaliação de todas as áreas inseridas na zona de maior potencial, possibilitando a escolha da melhor área para implantação de aterro sanitário.

Palavras-chave: sistema de informação geográfica, resíduos sólidos urbanos, aterro sanitário.

Introdução

Dentre as discussões sobre o atual cenário da “crise ambiental global”, destaca-se os problemas relacionados ao aumento da geração de resíduos sólidos, vinculados à urbanização e ao crescimento econômico. A urbanização eleva o consumo e a produção de resíduos, e sua destinação inadequada, especialmente dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), potencializando os riscos ao meio ambiente e à saúde pública (Kaza *et al.*, 2018).

Segundo a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA), o Brasil apresentou no ano de 2022, aproximadamente 77.1 milhões de RSU gerados, 61% foram coletados e enviados para aterros sanitários e 39% do total coletado, foram despejados inadequadamente em aterros controlados e lixões sanitários, baixo índice potencializado na região norte, que envia apenas 37% do RSU gerado para aterros sanitários (Abrema, 2023).

Diante do panorama de geração de resíduos e sua destinação final ambientalmente segura, a política nacional vem desenvolvendo discussões, pesquisas e alternativas para gestão de resíduos sólidos, por meio de aprovação de marcos regulatórios. Em 2010, foi sancionada a lei n.º 12305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), tendo como os principais objetivos a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; o incentivo a gestão integrada ao gerenciamento de resíduos sólidos, e a atribuição aos gestores públicos a responsabilidade para o desenvolvimento de projeto de gestão de resíduos sólidos adequado para o país (Brasil, 2010).

Na tentativa de conter o acúmulo RSU provenientes do aumento no consumo de produtos industrializados e crescimento demográfico, foram realizadas revisões das políticas conferidas ao

Poder Público local, estendendo prazos e reformulando regularizações que favoreçam a gestão locais e o cumprimento do PNRs, que foi estimulada através da obrigatoriedade da extinção dos lixões a céu aberto em território nacional, e estipulando prazos que vem sendo postergados desde 2014 até o atual ano de 2024, prazo final para criação de plano municipal ou intermunicipal de gestão integrada de resíduos sólidos, que disponha de mecanismos de cobrança que garantam sua sustentabilidade econômico-financeira (Ipea, 2020).

De acordo com o Relatório Estadual fornecidos pelo Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), apenas 29 dos 144 municípios do Estado do Pará, possuem um Plano de Gestão de Resíduos Sólidos conforme a lei nº 12305/2010, e com aproximadamente 80% da população total atendida pelo sistema de coleta, apenas 2 municípios declararam destinação adequada com uso de aterro sanitários, 12 municípios declararam unidades de aterros controlados em 2020. A maioria dos municípios ainda utilizam lixões para disposição de resíduos, o que gera contaminação ambiental e um elevado potencial de degradação (Sinir, 2020).

O planejamento para implantação de aterros sanitários é processo complexo, portanto, há necessidade de medidas e ações ativas voltadas para o estudo de deposição adequada de resíduos, o que abranjam desde o estudo da área territorial, até considerações quanto aos aspectos frágeis do meio físico e biológico, fatores socioeconômicos atrelados às necessidades de cada município, e análise adequada de combinação e cruzamento de informações geradas e processados por técnicas de geoprocessamento, pode-se gerar diferentes modelos geoespaciais, produção de diferentes mapas e realizar múltiplas análises (Lourenço *et al.*, 2015). Evidenciando assim, um tema de pesquisa de grande importância na gestão de resíduos sólidos.

Em virtude disto, este estudo tem por finalidade a aplicação de técnicas de geoprocessamento para analisar e selecionar áreas aptas para a implantação de aterro sanitário no município de Tucuruí, fazendo uso de critérios ambientais específicos e critérios técnicos para esta seleção.

Metodología

Área de estudio

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Ibge, 2023), o município de Tucuruí, localiza-se na mesorregião do sudeste do Estado do Pará, nas coordenadas 03°45'58S de latitude 49°40'21"W de longitude, a uma altitude aproximada de 40 metros em relação ao nível do mar e possui 91306 habitantes em área territorial de 2084.289 km² (Figura 1). Com o PIB per capita em 2021 de R\$ 48149.75, é considerado o oitavo maior PIB entre os municípios paraenses, devidos principalmente aos *royalties* pagos pela Usina Hidrelétrica de Tucuruí ao município, o que não é refletido na qualidade e disponibilidade dos serviços de saneamento ambiental.

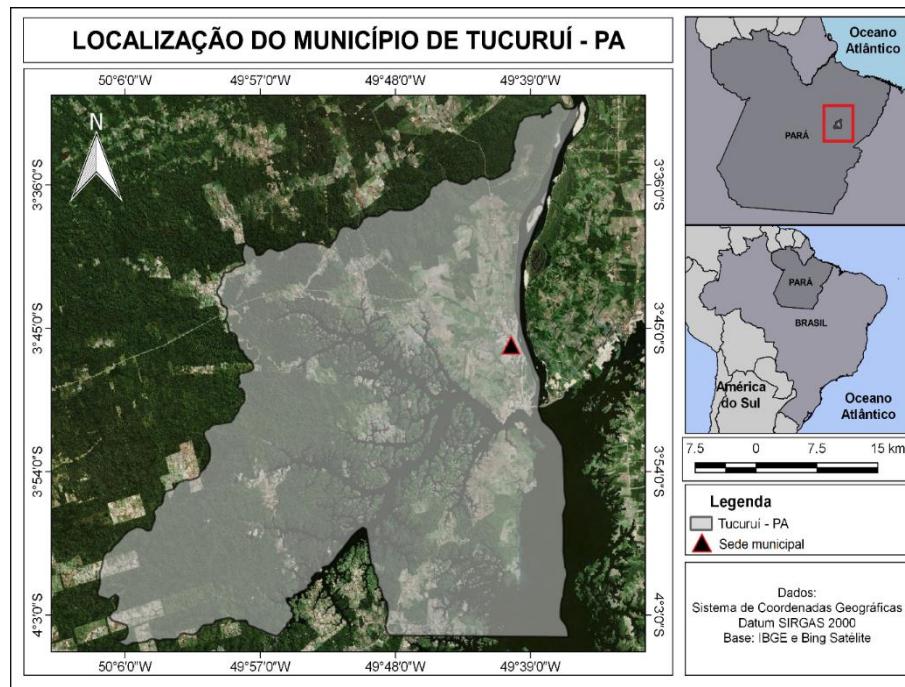


Figura 1. Mapa de Localização do Município de Tucuruí – PA. Fonte: Elaborada pelos Autores.

Atualmente a disposição de resíduos sólidos gerados pela população de Tucuruí ainda é feita de maneira inadequada, em uma área denominada pela prefeitura como aterro controlado, mas que tem extrema deficiência em infraestrutura, localizada próxima à estrada que leva ao município de Novo Repartimento-PA (BR-422), ocupando uma área de aproximadamente 55000 m² (Figura 2), dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) do Lago de Tucuruí, considerada uma Unidade de Conservação (UC) que compõem o Mosaico do Lago de Tucuruí, criado pela lei estadual nº 6 451/2002, sendo que a APA possui 568667 ha de extensão, além de áreas das Reservas de Desenvolvimento Sustentável (RDS) e Zonas de Preservação de Vidas Silvestres (ZPVS) (Moraes, 2021).

A área utilizada é de acesso livre e sem nenhum sistema de drenagem de chorume e gases, sem qualquer regularidade na disposição dos resíduos, além de ser muito comum encontrar famílias de catadores residindo nessa área (Figura 3), devido a dinâmica do trabalho realizado no lixão que gira em torno da coleta do material misturado à outros resíduos, para reciclagem, dando ainda destaque a essa moradia, pela ausência de saneamento, poluição causada pelo lixão, pela pobreza, e condições de baixo nível de escolaridade dos moradores.

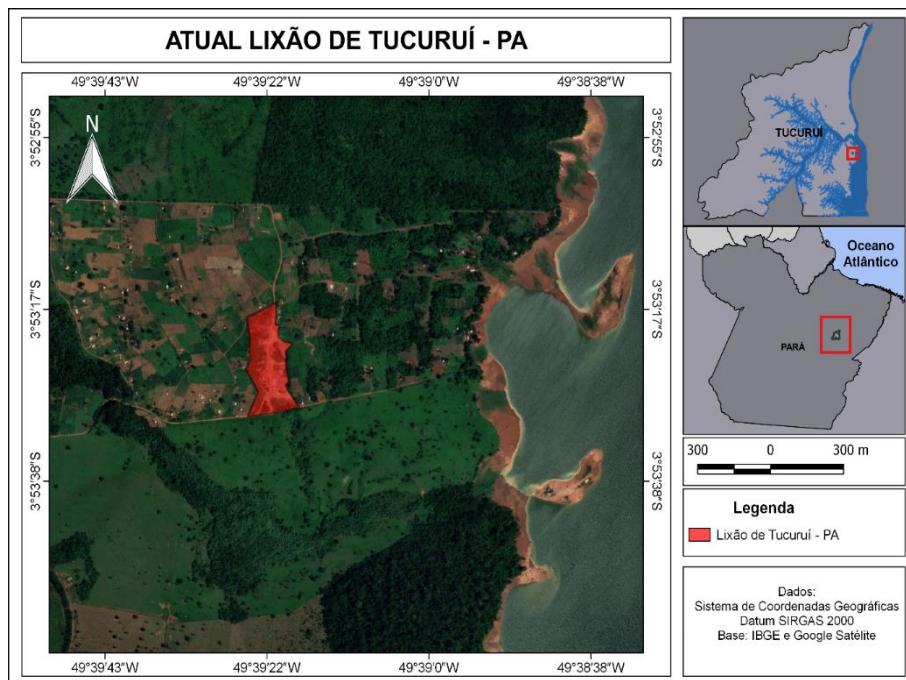


Figura 2. Mapa da Localização da área que abrange o “Lixão”. *Fonte: Elaborada pelos Autores.*



Figura 3. Lixão a céu aberto de Tucuruí – PA. *Fonte: Autores.*

Segundo os dados mais atuais disponibilizados pelo SINIR, em 2015, cerca de 89% da população de Tucuruí recebe o serviço de coleta de resíduos, o que chega a uma cobertura de coleta de resíduos doméstico de cerca de 93.31% da população residente em áreas urbanas do município, ou seja, nem todo volume de resíduo doméstico gerado é coletado e a cobertura de coleta de resíduos é considerado para os casos de residências urbanas diretamente atendidas e para recolhimento de caçambas fornecidas pelo serviço público. Quando não aplicado, são considerados “sem coleta” e o despejo inadequado de resíduos sólidos é feito em terrenos baldios, vias públicas ou queima.

Critérios para a seleção de áreas aptas para a implantação de aterro sanitário

A definição da melhor localização para a disposição de um aterro sanitário deve levar em conta três critérios de seleção, são eles: aspectos técnicos, aspectos econômico-financeiros e aspectos político-sociais, sendo o primeiro objeto de maior deliberação na pesquisa, conforme NBR 13896/1997, que estabelece aspectos técnicos fundamentais para tomada de decisão nesse processo, a qual pode-se citar:

- Topografia: locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%;
- Geologia e tipos de solos existentes: coeficiente de permeabilidade inferior a 10-6 cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3 m;
- Recursos hídricos: distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água;
- Vida útil: aterros com vida útil mínima de 10 anos;
- Distância mínima a núcleos urbanos: deve ser avaliada a distância do limite da área útil do aterro à núcleos populacionais, recomendado distância superior a 500 m.
- Distância mínima de 100 metros de rodovias e estradas.

Os aspectos político-sociais dizem respeito à aceitação e o impacto causado nas comunidades próximas a área de instalação do aterro. Logo é importante observar os seguintes critérios segundo constantes no Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (Monteiro *et al.*, 2001):

- Distância de núcleos urbanos de baixa renda;
- Acesso à área feita por vias de baixa densidade de ocupação devido aos transtornos à comunidade;
- Inexistência de problemas com a comunidade do entorno.
- Já os aspectos econômico-financeiros têm em vista a viabilizar a construção e funcionamento do aterro sanitário, devem ser levados em conta para isso critérios como:
- Distância do aterro sanitário ao local de coleta dos resíduos de forma a minimizar custos de transporte;
- Custo de indenizações ou da compra da área de implantação (caso necessário), custos com licenças;
- Condicionantes ambientais a depender da localização.

O presente estudo de caso propõe-se a indicar as áreas aptas à instalação de um aterro sanitário no município de Tucuruí tendo por base os aspectos supracitados, adotando os seguintes critérios:

- Tamanho da área e tempo de vida útil do aterro sanitário de 20 anos;
- Distância de 300 a 500 m de nascentes, corpos d'água e rios;
- Afastamento de 1 a 3 km de zonas residenciais;
- Proximidade da zona de coleta (máximo a 20 km de distância);
- Distância de 500 a 1000 metros de rodovias e estradas.
- Solo com declividade de 0 a 20% de declividade.

Para essa definição foram coletados dados disponíveis em meio digital com vista ao atual cenário pandêmico mundial e como forma de viabilizar um estudo preliminar de baixo custo e com informações de fácil acesso geral, posteriormente estes dados serão cruzados e assim obtidos como resultado as aéreas que melhor atendem as todos os parâmetros (Figura 4).

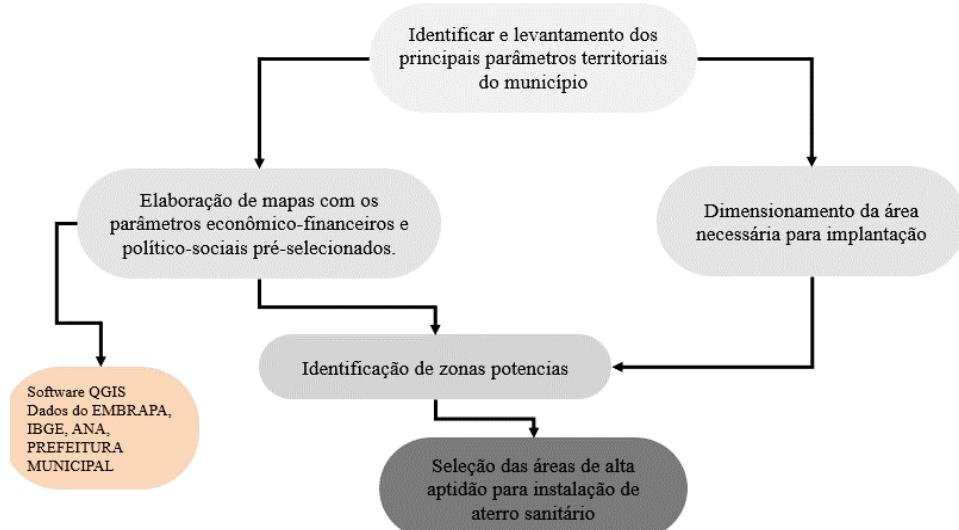


Figura 4. Metodologia da Pesquisa. *Fonte: Elaborada pelos Autores.*

Os dados técnicos foram obtidos da seguinte forma: análise de imagens por meio do *software* Google Earth; dados relativos à relevo, topografia e população obtidos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e IBGE; dados de precipitação e hidrografia por meio da Agência Nacional de Águas (ANA) e demais dados sobre características locais obtidos no Plano Diretor de Tucuruí (Prefeitura municipal de Tucuruí, PMT - 2006).

A partir das normas técnicas pertinentes ao assunto, que determinam as condições de declividade do terreno, distância de recursos hídricos e assentamento urbanos, vegetação, entre outros, fará-se a filtragem de áreas que atendem essas características considerando os limites territoriais.

Seleção de área por dimensionamento

Para seleção de área foi estipulada uma regra de decisão para alcançar os objetivos do estudo, através de dimensionamento da área necessária para a possível instalação e funcionamento do aterro e atender a demanda de resíduos sólidos do município até o período de vida útil adotada.

Considerando-se uma vida útil para o aterro sanitário de 20 anos do período de 2023 a 2043, e uma distância de no máximo 20 km da zona urbana, foram realizados cálculos a fim de se obter a área mínima para aterro. Para isso é necessário ter uma projeção da população do município o dimensionamento da escolha do local para a implantação, considerando o pleno funcionamento do aterro durante o período de vida útil.

Utilizando o método de projeção aritmética, através da Equação 1 pode ser utilizada para estipular a população no ano de 2043.

$$P_T(2043) = P_0 + Ka \times (T_2 - T_0) \text{ (hab.)}$$

Equação (1)

Em que:

$P(0)$ é a população inicial;

ka é a taxa de crescimento anual (supondo-se uma projeção aritmética);

T_2 é o ano final;

T_1 é o ano inicial;

Para determinação da taxa de crescimento anual da população estimou-se como referência os anos de 2000 a 2015, de acordo com os censos de 2000 e 2015, disponibilizados na página eletrônica do IBGE, observou-se uma população de 61596 habitantes no município de Tucuruí no ano de 2000 e 107189 habitantes no ano de 2015. Dessa forma é possível determinar a taxa de crescimento anual, através da Equação 2.

$$Ka = \frac{\Delta P}{\Delta T} = \text{População (2015)} - \text{População (2000)} / (2015-2000)$$

Equação (2)

O resultado da combinação das Equações (1) e (2) permite estipular a população total de habitantes no ano de 2043, e tendo esse valor já previsto, se torna possível calcular a quantidade de resíduo sólido gerado durante a vida útil do aterro sanitário.

De acordo com os dados disponibilizados pelo IBGE (2010), citado no Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado do Pará (Pegirs Vol 1, 2014), estima que em Tucuruí são produzidas 81.6 toneladas de RSU por dia, gerando uma média relativa de 0.84 kg por habitante e dia. Dessa maneira, a quantidade de lixo produzido no ano de 2043 pode ser estimada pela Equação 3.

$$Q(2043) = Pt(2043) * 0.84 \text{ (Kg/dia)}$$

Equação (3)

Com a quantidade de lixo já estipulada pode-se medir o volume de resíduos produzidos diariamente. De acordo com Ribeiro (2011), o peso específico do lixo compactado é $P(e) = 500$ a $700 \frac{kg}{m^3}$, adotando o maior peso específico, pode- se calcular o volume total de resíduo de acordo com a Equação 4.

$$V(2043) = [Q(2043) / 700] * 365 * 20 \text{ (m}^3\text{)}$$

Equação (4)

Nos cálculos mensurados não foram considerados a realização de compostagem e coleta diferenciada dos resíduos, condições exigidas pela Lei nº 12305/2010 como requisito para alocação de aterro sanitário, sendo assim, adotando o cenário mais desfavorável possível, para manter certo grau de tolerância, evitando margem de erros.

Por fim, a determinação de área mínima foi obtida através do termo de referência disponibilizado pelo Ministério das Cidades (Brasil, 2011), mostrado na Tabela 1, que relaciona a população total no ano estipulado à área mínima necessária para acomodação do aterro. Podendo ser estipulada pela Equação 5, adotando uma altura máxima de 6 metros, tendo como referência as NBRs 15849/2010 e 8419/1992. Dessa forma, obtém-se a área mínima adequada para alocação do aterro.

Tabela 1. Tabela de Referência de Área mínima.

Faixa de População (Habitantes)	Área mínima por gleba		
	Aterro Sanitário (pequeno, médio e grande porte) (há)	Unidade de compostagem (m ²)	Estação de Transbordo (m ²)
Até 2000	1	300	1100
De 2001 a 5000	2	300	1100
De 5001 a 10000	4	500	1100
De 10001 a 20000	6	1000	1100
De 20001 a 50000	10	2500	1100
De 50001 a 100000	20	6000	1100
De 100001 a 150000	25	9000	1100
De 150001 a 250000	35	17000	1100
De 250001 a 500000	55	33500	1100

$$A(\text{mínima}) = V(2043) / h \text{ (ha)}$$

Equação (5)

Análise das zonas potenciais

A partir dos critérios de seleção por dimensionamento de área, adotados para a instalação do aterro sanitário, foram gerados mapas da área de estudo, que correspondem às localizações da zona urbana, rios, estradas, além de mapas para análise de uso do solo e declividade do terreno do município.

Para a produção dos mapas foi utilizado o software QGIS 2.18 e o sistema de coordenadas geográficas *Datum Sirgas* 2000, necessários para realização das consultas e manipulações espaciais de dados para modelos numéricos de terrenos e imagens, posteriormente, foram atribuídos às tabelas de cada mapa, classificação do grau de aptidão as áreas correspondem às distâncias das zonas urbanas, estradas e rios. Esses graus de aptidão variam entre áreas impróprias, regulares e próprias para implantação.

Zonas urbanas e estradas

Para elaboração do mapa de distância das áreas urbanas foram considerados os dados vetoriais obtidos através do IBGE e captura de imagem do satélite Bing através do complemento "*Quick Map Services*". Após mapeamento de limite do município e das suas respectivas áreas urbanas, foram definidas faixas de distâncias, conforme Figura 6. De acordo com a NBR 13896/1997, a distância mínima entre o aterro e área urbana deve ser no mínimo 500 metros, utilizado também como critério mínimo, já que pode trazer problemas às comunidades, povoados e/ou agrovilas no entorno.

A elaboração do mapa de distância de estradas foi feita com os dados vetoriais obtidos através do site IBGE e Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes (DNIT) e imagem do satélite Bing obtida através do complemento "*Quick Map Services*" disponível no software QGIS. Conforme a NBR 13896/1997, a distância mínima do aterro para estradas deve ser de 100 metros, distâncias menores trazem proximidade excessiva e pode prejudicar o tráfego de veículos devido à possível presença de resíduos mais leves como sacolas plásticas; além de gerar grande impacto visual do aterro (Weber e Hasenack, 2000).

Drenagem do município

Outro critério importante de análise é a delimitação de corpos hídricos e drenagem do município, ou seja, o mapeamento geral da coleção hídrica presente na região, devendo-se preservar os recursos hídricos de possíveis contaminações por efluentes, de acordo com o que estabelece a legislação em relação à distância de cursos e corpos d'água (Weber e Hasenack, 2000).

Os dados vetoriais obtidos para elaboração do mapa de distância de corpos hídricos e drenagem do município, foram coletados do banco de dados do IBGE, ANA e dados da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA), e imagem do satélite Bing/*Alos Palsar* e utilizando o software QGIS, as imagens foram reprojetadas para o Sistema de Coordenadas Geográficas, *Datum Sirgas* 2000.

A partir do mapeamento da diversidade hidrográfica extraída do município, pôde-se observar que Tucuruí tem seu território banhado pela bacia hidrografia do Tocantins-Araguaia e as microbacias como, o rio Cariné que alimenta grande parte do território, tendo também o abastecimento da zona urbana através do rio Tocantins, como mostra as Figuras 5 e 6.

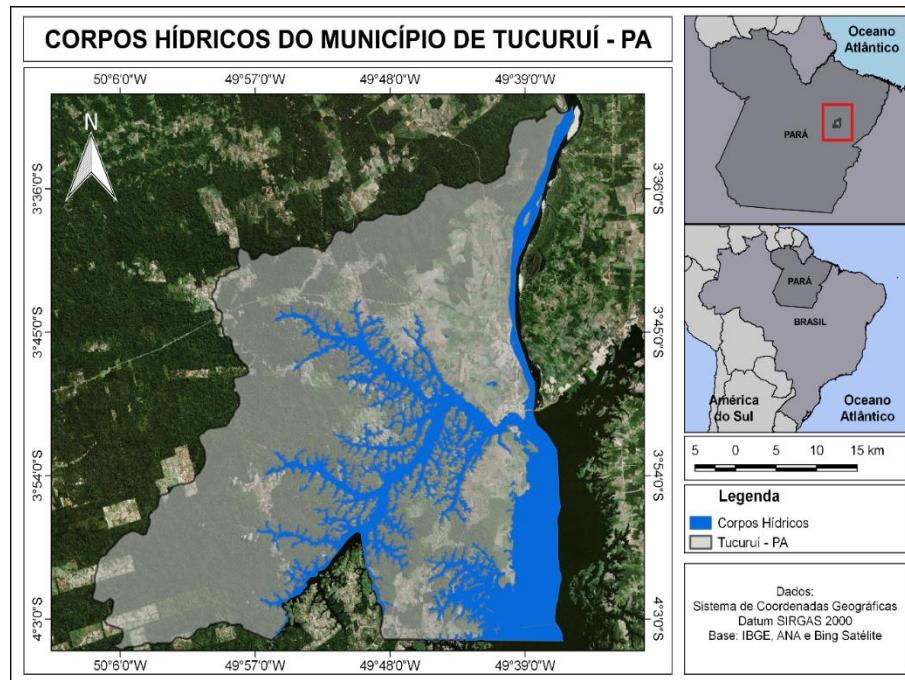


Figura 5. Mapa Hidrográfico do Município. *Fonte: Elaborada pelos Autores.*

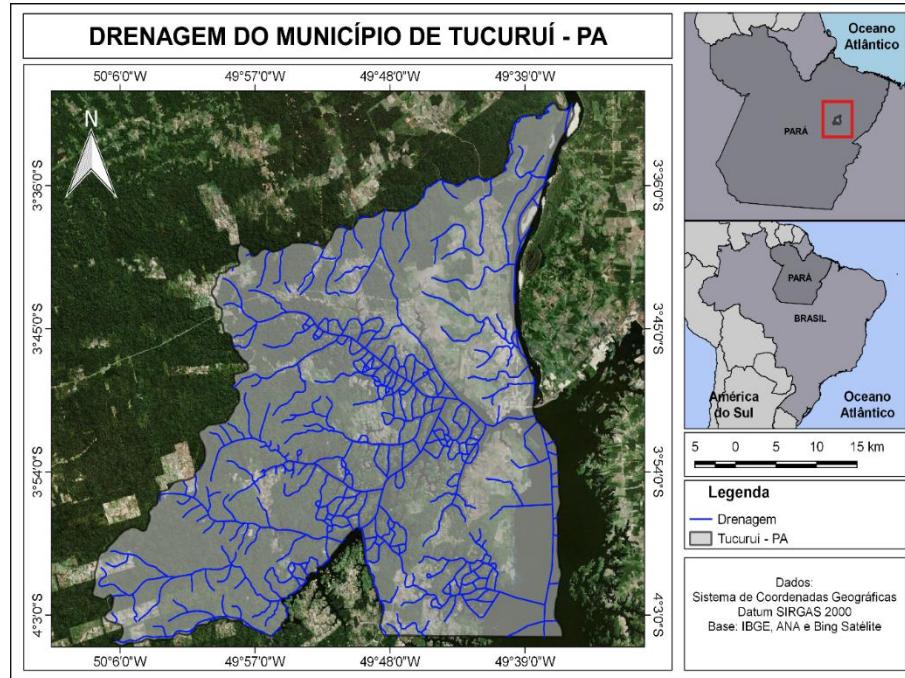


Figura 6. Mapa de Drenagem do Município. *Fonte: Elaborada pelos Autores.*

Declividade e uso do solo

Para a análise dos mapas já expostos, fez-se necessário ter conhecimento sobre o grau de afastamento entre cada critério e a possível área de alocação do aterro, mas para além desse estudo, também deve-se determinar a análise do uso de ocupação do solo do município e declividade do território. A declividade representa a inclinação do terreno em porcentagem, está ligada a velocidade do escoamento superficial das águas e do provável escoamento do chorume proveniente do aterro. Sendo assim, quanto menor for a declividade, melhor será a área para construção do aterro.

Para o estudo, os dados vetoriais foram obtidos através do site IBGE e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e utilizando o software QGIS, foi possível analisar o fator de declividade de acordo com o grau de limitação do uso do solo em função da exposição à erosão, de 0 a 3% relevo plano, de 3 a 8% relevo com suave ondulação, de 8 a 20% relevo ondulado, de 20 a 45% relevo fortemente ondulado, de 45 a 75% relevo montanhoso e maior que 75% fortemente montanhoso (EMBRAPA, 1979).

Para elaboração do mapa de uso e ocupação de solo utilizou-se os dados vetoriais obtidos através do projeto TerraClass no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e o Manual de Classificação do Uso da Terra do IBGE, a imagem do satélite Bing obtida através do complemento "Quick Map Services", ferramenta no software QGIS, com 30 metros de resolução, foi classificado pelo método probabilístico no qual pixels da imagem são associados com suas respectivas classes temáticas, em que foram selecionados 8 tipos de uso de solo, área urbana, demais ocupações, floresta, pasto, vegetação secundária, regeneração com pasto, solo exposto e hidrografia.

Por fim, as áreas excelentes resultantes das análises de todos os mapas tiveram suas faixas de distância e informações de critérios de solo, sobrepostas. Com base nisso, foi realizado um novo cruzamento, entre a análise das zonas potenciais, resultantes da sobreposição dos mapas, e a área mínima necessária para implantação do aterro, e atendendo aos dois critérios, se chegará a um conjunto de áreas que atendem tantos aos interesses da comunidade local quanto a interesses do poder público no tange a menores custo de implantação e operação.

Resultados e discussão

Os resultados obtidos com as equações descritas na metodologia foram os seguintes: Os cálculos da Equação 2 indicam que a taxa de crescimento da população, utilizando o intervalo entre os anos 2000 e 2015 é de 3039.53 Com a taxa de crescimento calculada, através da Equação 1, pode-se fazer uma estimativa populacional no ano de 2043, por projeção aritmética, será de 186216.73 habitantes.

A partir do cálculo de estimativa da população para o período adotado de 20 anos, é necessário saber também, a quantidade de resíduo gerado, equivalente a quantidade de habitantes, para uma média de 0.84 kg/hab/dia, conforme Equação 3, tem-se o resultado de 156422.05 Kg/dia. A quantidade de

resíduo gerado no ano de 2043 será de 156.422 ton/dia, mas como deve-se ter projeção para os 20 anos úteis do aterro, aplicando a Equação 4, chega-se ao valor de 1631 258.55 m³.

Esse volume demonstra que com uma estimativa de 1141880.6 toneladas geradas no período de 20 anos, aplicando o peso específico do aterro compactado, se tem um volume de resíduo de 1631258.55 m³. Para o valor correspondente a área mínima necessária para alocação desse aterro, pode ser retirado da tabela de termo de referência do ministério das cidades, ou calcular a área aproximada de acordo com a equação 5. Obtendo-se o resultado de área mínima igual a 271876.425 m², aproximadamente 28 hectares.

Sem esse cálculo de aproximação de área mínima, e considerando a faixa de população adotado termo de referência do ministério das cidades, a área mínima a ser considerada seria de 35 hectares. Assim, a área mínima que deve ser reservada para a implantação de um aterro sanitário com vida útil de 20 anos no município de Tucuruí, Pará, deve ser no mínimo de 28 ha, e com esses dados pode-se prever aproximadamente os problemas da futuros da questão do lixo, em termos de espaço e meio ambiente, que será enfrentado daqui a alguns anos.

Seleção das áreas adequadas para a implantação

A análise de cada critério varia de acordo com as respectivas zonas de cada mapa. Para o mapa de distâncias da área urbana a zona de aptidão máxima e “excelente”, foi considerada as distâncias entre 1000 e 4000 metros da zona urbana ilustrado na Figura 7 e classificação disposta na Tabela 2.

A faixa abaixo com distâncias menor que 500 metros não se aplica, pois está dentro da zona considerada urbana, e prejudica a qualidade de vida dos moradores próximos, para a faixa de 500 a 1000 metros, considera-se regular, pois não atinge diretamente as áreas urbanas, mas pode causar problemas de incômodo visual aos moradores mais próximos dessa faixa, e acordo com Marques (2001), distâncias superiores a 4 quilômetros podem dificultar o transporte de resíduo até o aterro, e consequentemente elevar o custo com o transporte, sendo assim a melhor faixa de distância está entre 1000 e 4000 metros da zona urbana.

Tabela 2. Classificação da Distância no Mapa de Áreas Urbanas.

CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (M)
INADEQUADA	< 500
REGULAR	500 - 1000
EXCELENTE	1000 - 4000
REGULAR	> 4000

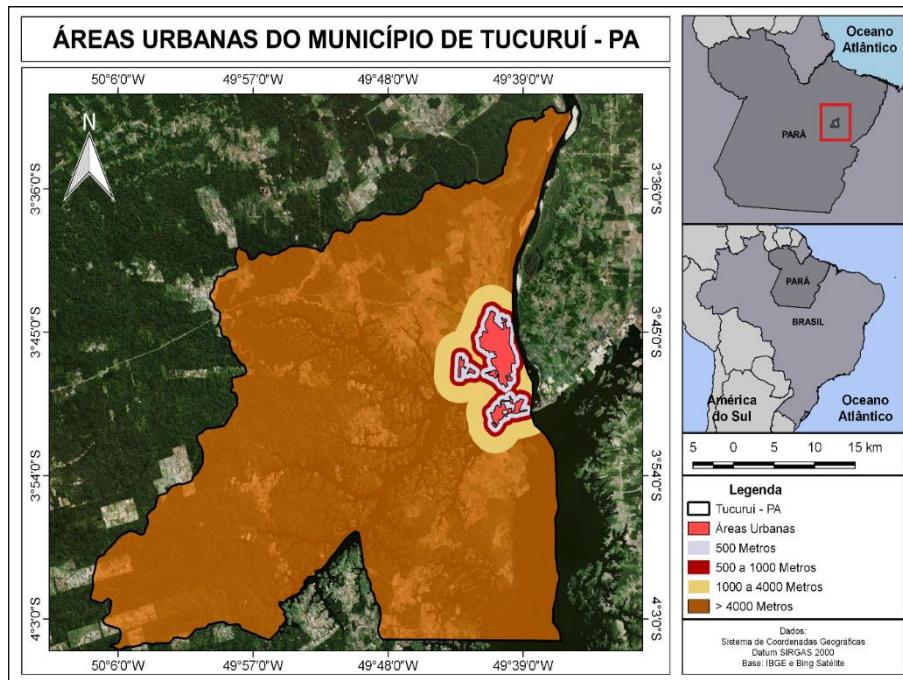


Figura 7. Mapa de Distâncias da Área Urbana do Município. *Fonte: Elaborada pelos Autores.*

Para seleção da melhor zona de distanciamento de estradas e rodovias que cortam o município ilustrado na Figura 8, a faixa de distância adotada como “excelente” está entre 500 a 1000 metros de afastamento, pois distâncias menores comprometem a qualidade visual do tráfego que circulação das estradas e rodovias e distâncias maiores, podem comprometer a eficiência do transporte de resíduos, e conforme determinação das faixas, foram atribuídos às classificações de aptidão, apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação de Distância no Mapa de Estradas.

CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (M)
INADEQUADA	<500
EXCELENTE	500 - 1000
REGULAR	>1000

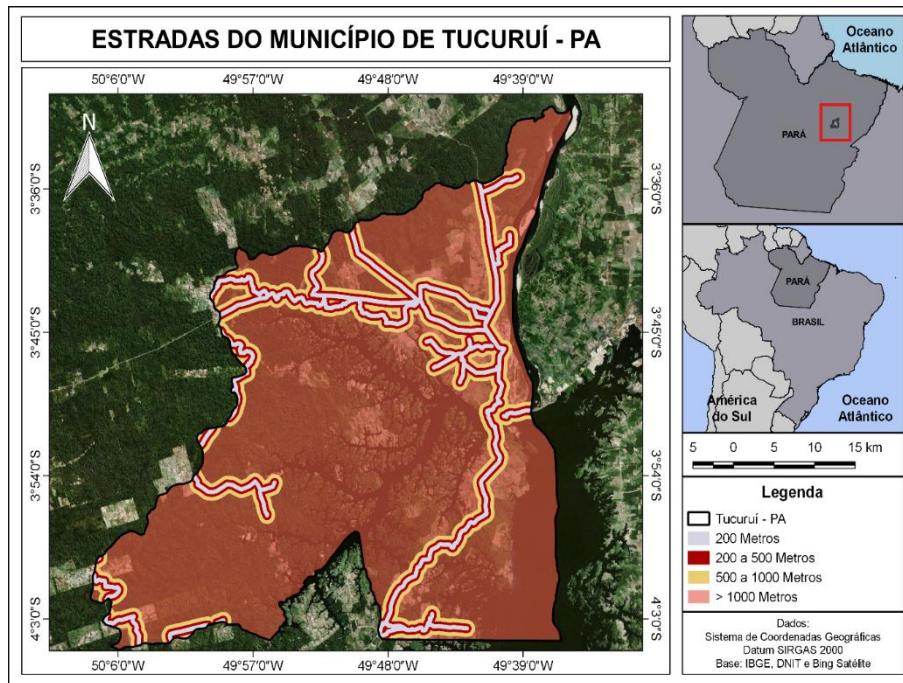


Figura 8. Mapa de Distância das Estradas do Município. *Fonte: Elaborada pelos Autores.*

Para mapa de distanciamento de rios, após a espacialização hidrográfica mais detalhada do município, aplicou-se as faixas de distâncias para estabelecer as zonas excelentes, conforme Figura 9. A NBR nº 13896/1997 estabelece distância mínima de 200 metros de qualquer coleção hídrica, mas atendendo ao valor adotado, a zona própria é acima de 300 metros de qualquer corpo hídrico e conforme aumento de faixa, maior é a aptidão da área. Sendo assim, áreas com distâncias entre 300 a 500 metros foram consideradas como “regulares”, mas com a mesma prioridade de uma área excelente e acima de 500 metros como “excelentes” para implantação, elucidado na Tabela 4.

Tabela 4. Classificação de Distância no Mapa de Drenagem.

CLASSIFICAÇÃO	DISTÂNCIA (M)
INADEQUADA	≤ 300
REGULAR	300 – 500
EXCELENTE	>500

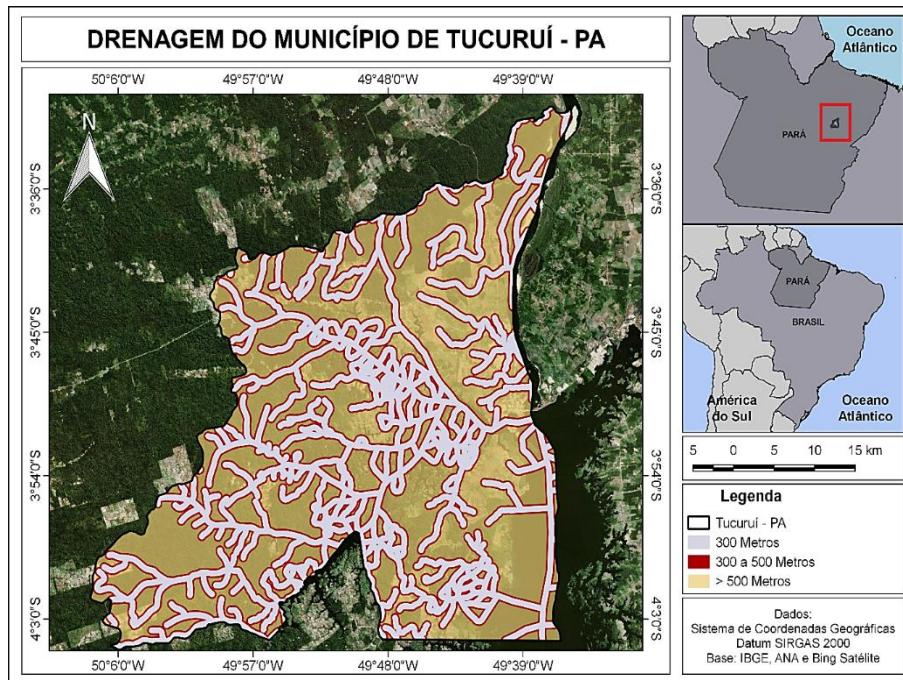


Figura 9. Mapa de Distância da Drenagem do Município. *Fonte: Elaborada pelos Autores.*

Para classificação das zonas no mapa de declividade, foi classificado como zona excelente, declividade de 0 a 8%, com relevo plano ou suave ondulação, evitando assim, áreas com relevo com inclinações maiores que 8%, ondulados, fortemente ondulados ou montanhosos, evitando problemas de escoamento do chorume para corpo hídricos durante os períodos de chuva, conforme Figura 10.

O mapa de uso e ocupação de solo, ilustrado na Figura 11, mostrou que as áreas com as maiores classes de uso de solo são de Floresta e Pasto, isso se deve a concentração da população às margens do Rio Tocantins, e ao elevado uso de propriedade privada para manejo agropecuário. Nesse sentido, a NBR n° 13896/1997 estabelece que o impacto ambiental a ser causado pela instalação do aterro deve ser mínimo, corroborando para que as áreas de florestas e vegetação secundária sejam evitadas. Sendo assim, as áreas pouco utilizadas, áreas pastagem e principalmente áreas já desmatadas e com solo exposto, tem maior grau de aptidão para a instalação do empreendimento.

Após o cruzamento dos dados e sobreposição das zonas aptas em todos os mapas analisados, classificou-se as áreas de acordo com sua aptidão, com classificação em potencial excelente, regular, ruim e péssima.

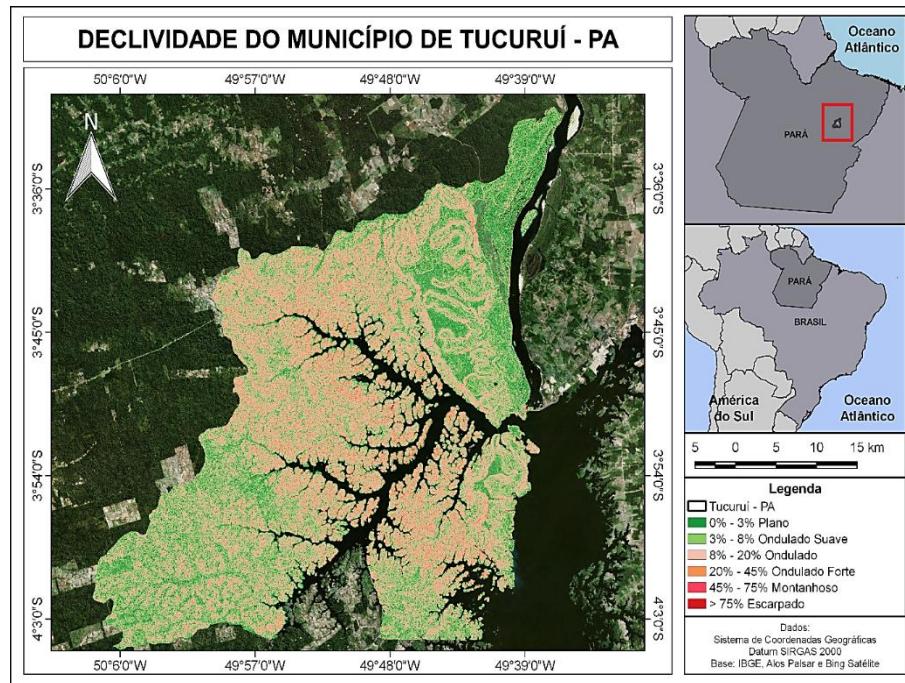


Figura 10. Mapa de Declividade do Município. Fonte: Elaborada pelos Autores.

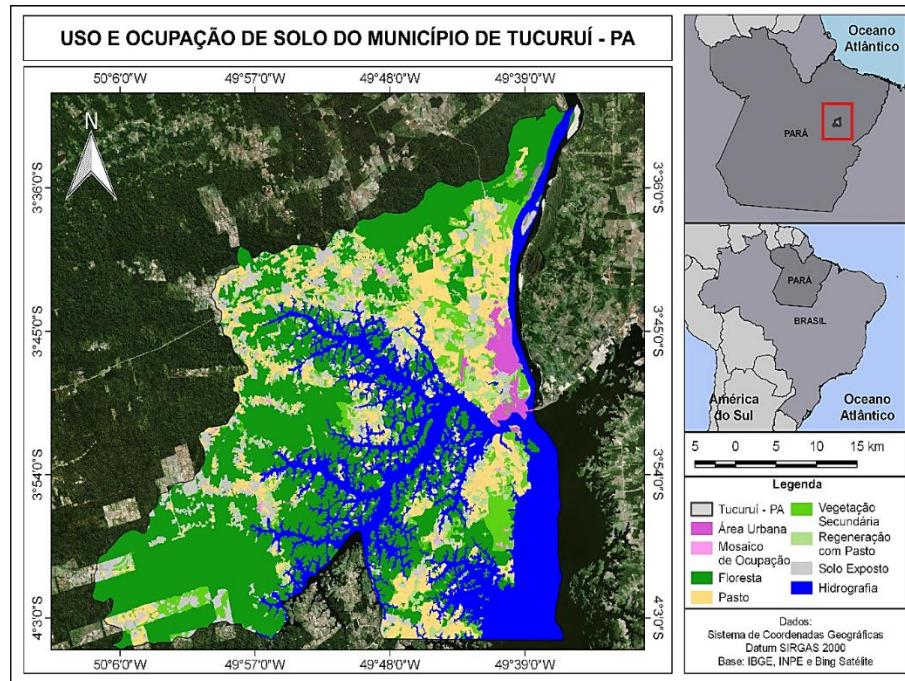


Figura 11. Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Município. Fonte: Elaborada pelos Autores.

As zonas com potencial excelente, atendem a todos os critérios avaliados para implantação, devendo essas, serem áreas pré-selecionadas (Figura 12); zonas de potencial regular atendem a 80% dos critérios; para as zonas de potencialidade ruim e péssima, são regiões que não atendem aos as faixas de distância ou não apresentam afastamento nenhum da zona urbana, ou está contido nas regiões de corpos hídricos.

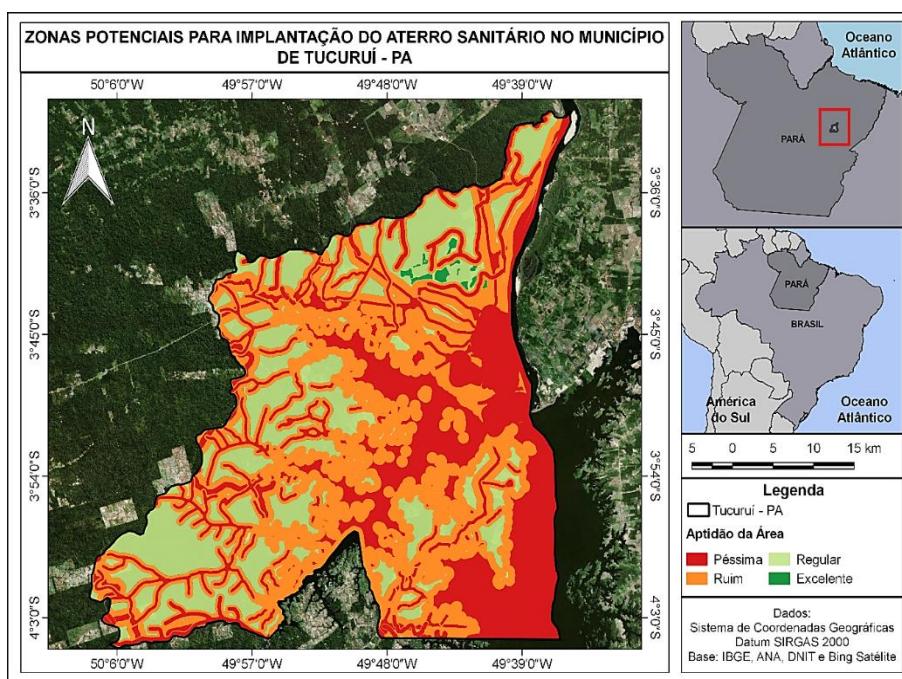


Figura 12. Mapa de Zonas Potenciais Para a Implantação do Aterro. Fonte: Elaborada pelos Autores.

Para as zonas que não atenderam 100% dos critérios, foram consideradas todas regulares, resultando em 12 áreas restantes de excelente aptidão (Figura 13).

Após realizado o cruzamento com o cálculo de área mínima, a fim de determinar a dimensão de cada, detalhado na Tabela 5.

Sabendo disso, de acordo com os cálculos feitos, a área mínima para implantação e funcionamento do aterro é de 28 hectares, descartando as áreas que não atendem a este critério, identificados como áreas 11 e 12, restando apenas 10 áreas, conforme Figura 14.

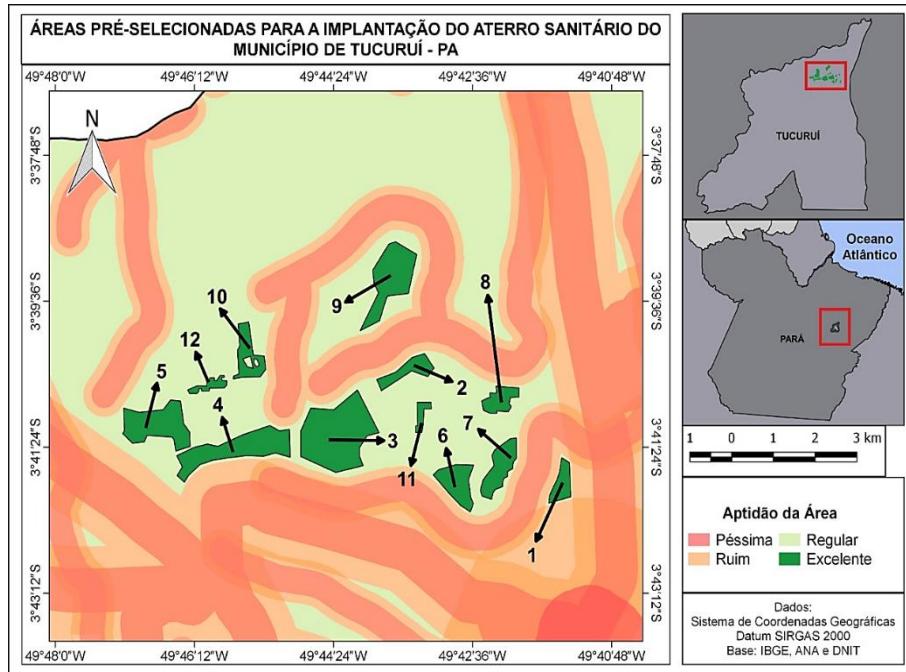


Figura 13. Mapa de Zonas Pré-Selecionadas Para a Implantação do Aterro. Fonte: Elaborada pelos Autores.

Tabela 5. Dimensões e Coordenadas das Áreas Pré-Selecionadas.

ÁREA SELECIONADA	DIMENSÃO (HA)	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
		X	Y
1	30.747	-49.691	-3.697
2	38.707	-49.724	-3.674
3	218.16	-49.739	-3.687
4	132.35	-49.761	-3.690
5	109.72	-49.778	-3.685
6	58.257	-49.713	-3.697
7	58.731	-49.704	-3.694
8	35.254	-49.704	-3.680
9	114.66	-49.728	-3.655
10	47.896	-49.758	-3.671
11	13.070	-49.721	-3.683
12	15.687	-49.767	-3.677

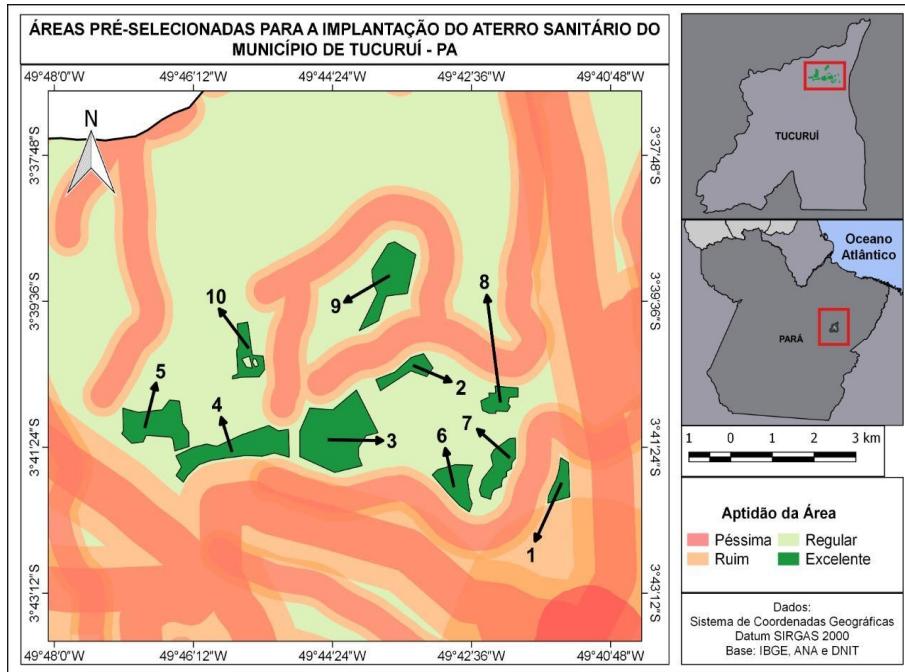


Figura 14. Mapa de Áreas Potenciais com Alta Aptidão Para a Instalação do Aterro. *Fonte: Elaborada pelos Autores.*

Um último filtro dessas áreas ainda pode ser feito. Levando em conta que um aterro sanitário em sua maioria não chega ao seu tempo de vida útil determinado, que neste estudo é de 20 anos, devido a geração de gases e líquidos percolados, vindo a ter suas atividades encerradas, e mantido o monitoramento de águas subterrâneas (Alves, 2010), a área necessária para implantação deste aterro não deve ser maior que 35 a 40 hectares, restando apenas as áreas 1, 2 e 8. Mas para essa análise deve ser considerado também outros estudos a respeito de critérios de vulnerabilidade ambiental, e conhecimento do tipo de solo da região, o que talvez reduza a quantidade de áreas selecionadas.

Considerações finais

Sendo assim, foi constatado que o município de Tucuruí, no Estado do Pará, encontra-se em situação irregular em relação à Política Nacional de Resíduos Sólidos, por conta de a destinação dos seus resíduos ainda não ser direcionada para um aterro sanitário, situação essa compartilhada infelizmente com muitos outros municípios, desse modo, o município sendo passível de sanções econômicas por parte do governo federal.

É importante destacar que o estudo representou uma identificação preliminar de áreas para a construção de aterros sanitários. As áreas selecionadas como aptas podem apresentar outras

características que podem inviabilizar a sua utilização para a disposição de resíduos e reduzir o número de áreas obtidas, como áreas de vulnerabilidade ambiental, dificuldade de acesso, fluxo de água subterrânea, pedologia e permeabilidade do solo, que devem ser analisados e validados *in situ*.

Ressalta-se ainda a necessidade da criação de outros mecanismos que de fato farão com que os aterros sanitários sejam instalados, tendo em vista que a simples criação de prazos inexequíveis só resultará em postergações.

Propondo auxiliar na solução para o município, o trabalho aqui efetuado entrega como principal produto o mapeamento de 10 áreas de excelente aptidão para a instalação do aterro sanitário em Tucuruí, separando 3 dessas como as mais aptas devido a maior aproximação em relação a dimensão ideal de 28 hectares, obedecendo critérios técnicos adotados, em segundo plano, o estudo demonstra a acessibilidade e avanço das ferramentas de georreferenciamento, e a possibilidade de transformação dos cuidados com o meio ambiente e especialmente com as pessoas, por meio da ajuda dessas ferramentas, espera-se agora que esse avanço dos softwares seja traduzido pela administração pública da mesma forma em avanço social e ambiental.

Referências bibliográficas

- ABNT NBR, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1997) *NBR 13896: Projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos*. ABNT
- ABNT NBR, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2010) *NBR 15849: Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte*. ABNT
- ABNT NBR, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992) *NBR 8419: Resíduos sólidos – Aterros sanitários*. ABNT
- Abrema, Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. (2023) Panorama dos resíduos sólidos no brasil. Acesso em 8 out. 2024. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama>
- Alves, A. K. (2010) *Proposta De Manual Técnico De Medidas Preventivas E Corretivas Para Aterros Sanitários Encerrados*. Dissertação De Mestrado-Universidade Federal De Uberlândia. Uberlândia. 210 pp.
- Brasil (2010) *Lei Federal nº 12305, de 02 de agosto de 2010*. Institui a política nacional de resíduos sólidos. Acesso em 08 out. 2024. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/lei/L12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/L12305.htm)
- Brasil (2011) Ministério Das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (Snsa). Termo de referência para estudos de concepção de coleta seletiva, tratamento e disposição em aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos. Acesso em 07 de abril de 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/Znmt43xbcJ8jN6yLDj6mgtv>
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1979) Serviço nacional de levantamento e conservação de solos. Súmula da 10 reunião técnica de levantamento de solos. Rio De Janeiro. Acesso em 15 de junho de 2024. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/327212/1/SNLCSMiselania11979.pdf>
- Estado do Pará (2014) *Plano De Gestão Integrada De Resíduos Sólidos Do Estado Do Pará* (Pegirs). Vol 1. Pará: Bencorp. Acesso em 23 de agosto de 2024. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2016/09/14/plano-estadual-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos>
- IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística (2023) *Cidades – Tucuruí- Pá*. Acesso em 18 out. 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/tucurui/panorama>

- IPEA, Instituto De Pesquisa Econômica Aplicada (2020) *Resíduos sólidos urbanos no brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos*. Centro de Pesquisa E Ciência, Tecnologia e Sociedade. Acesso em 7 de março de 2024. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., Worderden, F. V. (2018) *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. Urban Development*. Washington, DC: World Bank. Acesso em 8 out. 2024. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10986/30317> License: CC BY 3.0 IGO
- Lourenço, R. W., Silva, D. C. C., Sales, J. C. A., Medeiros, G. A., Otero, R. A. P. (2015) Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. *Ciência e Natura*, **37**(3), 122-140. <https://doi.org/10.5902/2179460X15973>
- Marques, E. T. (2001) *Identificação de áreas potenciais para a disposição de resíduos de mármores e granitos em Cachoeiro de Itapemirim - ES*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 96 pp.
- Monteiro, J. H. P., Figueiredo, C. E. M., Magalhães, A. F., Melo, M. A. F., Brito, J. C. X., Almeida, T. P. F., Mansur, G. L. (2001). Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. Instituto Brasileiro de Administração Municipal - IBAM. Rio de Janeiro, 204 pp. Acesso em 19 fev. 2024. Disponível em: https://servicos.ifrn.jus.br/siteApi/arquivos/?path=jfrnsustentavel%2Fnormativosmanuals%2FManual_de_Gerenciamento_Integrado_de_Residuos_Solidos.pdf
- Moraes, G. C. T. (2021) Mosaicos de áreas protegidas na Amazônia. *Revista Tempo Amazônico – Amapá*, **8**(2), 271-291. Acesso em 12 set. 2023. Disponível em <https://www.sumarios.org/revista/revista-tempo-amaz%C3%A3nico>
- PMT. Prefeitura Municipal De Tucuruí (2006) *Plano Diretor Do Município*. Documento Técnico. Tucuruí, Pará. Acesso em 02 jan. 2024. Disponível em: <https://camaratucurui.pa.gov.br/site/arquivos/1538564348.pdf>
- Ribeiro, V. V. P. (2011) *Aplicação De Sistema De Informação Geográfica Na Identificação De Área Para Aterro Sanitário*. (Dissertação de Mestrado Profissional) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Sistema De Informação Geográfica, Centro De Informação Geográfico, Universidade Católica De Moçambique, Beira, Moçambique. 85 pp.
- SINIR, Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (2020) *Relatório estadual de gestão de resíduos sólidos*. Acesso em: 18 abril 2024. Disponível em: <https://sinir.gov.br>
- Weber, E., Hasenack, H. (2000) *Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em sig com classificação contínua dos dados*. Acesso em 09 set. 2024. Disponível em: https://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/Publicacoes/Congressos/2000/Weber_&_Hasenack_2000_Avaliacao_areas_aterro_sanitario_SIG.pdf