



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA
BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

THIAGO JOSÉ LIMA ROSA

**IDENTIFICAÇÃO DE POTENCIAIS ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO
SANITÁRIO EM PAU DOS FERROS - RN**

PAU DOS FERROS – RN

2023

THIAGO JOSÉ LIMA ROSA

**IDENTIFICAÇÃO DE POTENCIAIS ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO
SANITÁRIO EM PAU DOS FERROS - RN**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso Superior de
Bacharelado em Engenharia Ambiental e
Sanitária, da Universidade Federal Rural
do Semi-Árido - UFERSA, Campus Pau
dos Ferros, em cumprimento às
exigências legais como requisito para à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Dr. Joel Medeiros Bezerra

PAU DOS FERROS – RN
2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

R788i Rosa, Thiago José Lima.
Identificação de Potenciais Áreas Para
Implantação de Aterro Sanitário em Pau dos Ferros -
RN / Thiago José Lima Rosa. - 2023.
60 f. : il.

Orientador: Joel Medeiros Bezerra.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária, 2023.

1. Disposição final de resíduos. 2. Política
Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. 3. Novo Marco
Legal do Saneamento. 4. Geotecnologias. I.
Bezerra, Joel Medeiros, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

THIAGO JOSÉ LIMA ROSA

**IDENTIFICAÇÃO DE POTENCIAIS ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO
SANITÁRIO EM PAU DOS FERROS - RN**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso Superior de
Bacharelado em Engenharia Ambiental e
Sanitária, da Universidade Federal Rural
do Semi-Árido - UFERSA, Campus Pau
dos Ferros, em cumprimento às
exigências legais como requisito para à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Dr. Joel Medeiros Bezerra

DATA DE APROVAÇÃO: 18 / 05 / 2023

BANCA EXAMINADORA

Joel Medeiros Bezerra, Dr. - Presidente
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA

João Vitor Alencar Rosa Ataíde, Esp. - Membro Examinador

Jacineumo Falcão de Oliveira, Dr. - Membro Examinador
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA

PAU DOS FERROS – RN
2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus pelo dom da vida, por todas as batalhas vencidas e por todas as experiências vividas.

Agradeço à minha mãe, Christian Kerllen Lima Silva Rosa, e irmãos (Isabella Maria Lima Rosa e Emanuel Pacelli Alencar Rosa Júnior) por todo apoio e dedicação dada a mim durante toda a minha vida.

Agradeço a minha companheira de vida Maria Vitoria Freire de Souza Bezerra, por estar sempre ao meu lado. Você me trouxe alegria, amor e um senso de propósito na vida, por todo apoio e paciência em todos os momentos de dificuldade que percorri, e por me ouvir e aconselhar, sendo sempre meu porto seguro. Amo-te.

Agradeço aos meus Tios (Edna Rosa, Elba Rosa e Francisco Odilon Rosa) por acreditar veementemente em mim, por me incentivar e auxiliar antes e durante toda a minha vida acadêmica.

Agradeço a mim, pois sem meu esforço, dedicação, mantendo-me sempre nessa perspectiva, de que a educação, e somente ela é capaz de transformar vidas. “Educação não transforma o mundo. Educação muda as pessoas. Pessoas transformam o mundo” - Paulo Freire.

A todos os meus professores, em nome do meu orientador Dr. Joel Medeiros Bezerra, e dos professores Dr. Jorge Pinto Filho, Dra. Joseane Dunga da Costa e Dr. Jacineumo Falcão de Oliveira por terem passado todos os seus conhecimentos de forma perspicaz e amorosa, acreditando sempre no potencial dos seus alunos.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos, em nome de João Vitor Alencar Rosa Ataíde, Bruna Fernandes Martins, Guilherme Emanuel Ferreira Fontes e Heloisa Nascimento de Andrade pela compreensão em momentos complicados, pelas dicas passadas e pela amizade.

RESUMO

A seleção de local adequado, baseado em aspectos técnicos-legais, para implantação de aterro sanitário é um problema recorrente enfrentado pelos gestores de todos dos municípios brasileiros, somado a isso tendo que enfrentar o prazo para adequação a Política Nacional de Resíduos Sólidos e ao Novo Marco Legal do Saneamento Básico até agosto de 2024 e, a falta e/ou limitação de equipe técnica capacitada. Partindo desse princípio, este trabalho objetivou identificar potenciais áreas para implantação de aterro sanitário em Pau dos Ferros-RN. Para fins de elencar e caracterizar as condições que remetem a situação de base, foi empregada a realização de análise técnica sistêmica do território municipal, com emprego de geotecnologias para suporte à tomada de decisão. Nesse contexto, foram coletados dados temáticos referentes ao limite territorial do município para o processamento no Sistema de Informação Geográfico (SIG) QGis versão 3.22.5 Ltr, por meio da metodologia de análise multicritério, sendo estabelecido critérios de seleção e seus respectivos pesos baseado em normas técnicas e legislação ambiental vigente. Por fim, os objetivos propostos foram alcançados, com isso, assegura-se que o município apesar de possuir maior parcela de seu território impróprio para implantação do aterro sanitário (60,95%), consegue dispor de áreas propícias de implantação do aterro sanitário proposto com projeção de vida útil de 15 anos (9,20ha), pois encontrou-se áreas potenciais representando 39,05% do território municipal (10.084,91ha), com classificação variando entre razoavelmente favorável (1,72%), favorável (27,44%) e muito favorável (9,89%).

Palavras chave: Disposição final de resíduos, Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS; Novo Marco Legal do Saneamento; Geotecnologias.

ABSTRACT

The selection of a suitable site, based on technical-legal aspects, for the implementation of a landfill is a recurring problem faced by managers in all Brazilian municipalities. This is compounded by the need to meet the deadline for compliance with the National Solid Waste Policy and the New Legal Framework for Basic Sanitation by August 2024, as well as the lack and/or limitation of qualified technical staff. Based on this principle, this work aimed to identify potential areas for the implementation of a landfill in Pau dos Ferros-RN. In order to list and characterize the conditions that relate to the baseline situation, a systemic technical analysis of the municipal territory was carried out, with the use of geotechnologies to support decision-making. In this context, thematic data referring to the territorial limit of the municipality were collected for processing in the Geographic Information System (GIS) QGIS version 3.22.5 Ltr, using a multi-criteria analysis methodology, with selection criteria and their respective weights established based on current technical standards and environmental legislation. Finally, the proposed objectives were achieved, thus ensuring that the municipality, despite having a larger portion of its territory unsuitable for the implementation of the landfill (60.95%), can dispose of suitable areas for the proposed landfill with a projected lifespan of 15 years (9.20 hectares), as potential areas were found representing 39.05% of the municipal territory (10,084.91 hectares), with classifications ranging from reasonably favorable (1.72%), favorable (27.44%), and very favorable (9.89%).

Keywords: Final disposal of waste, National Solid Waste Policy - PNRS; New Legal Framework for Basic Sanitation; Geotechnologies.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Vazadouro a céu aberto (Lixão) de Pau dos Ferros - RN
- Figura 2 - Aterro Sanitário de Salgueiro - PE. A) Lagoa de chorume; B) Queimador do biogás
- Figura 3 - Localização Nacional do Rio Grande do Norte;
- Figura 4 - Localização Estadual do Município de Pau dos Ferros e Microrregião;
- Figura 5 - Fluxograma do processamento multicritério;
- Figura 6 - Dimensões da célula do aterro sanitário proposto;
- Figura 7 - Critério Malha Viária;
- Figura 8 - Critério Mancha Urbana;
- Figura 9 - Critério Rede de Drenagem/Corpos Hídricos;
- Figura 10 - Critério Declividade;
- Figura 11 - Áreas potenciais de implementação do aterro sanitário;
- Figura 12 - Buffer do centróide do aeródromo;
- Figura 13 - Ferramentas para extração da rede de drenagem;
- Figura 14 - Conversão das camadas vetoriais para *raster*;
- Figura 15 - Proximidade das camadas *raster* critérios;
- Figura 16 - Camada *raster* binária para as áreas proibidas;
- Figura 17 - Camada proibições;
- Figura 18 - Camada binária proibições;
- Figura 19 - Reclassificação *raster* estradas proximidade;
- Figura 20 - Reclassificação *raster* mancha urbana proximidade;
- Figura 21 - Reclassificação *raster* rede de drenagem proximidade;
- Figura 22 - Reclassificação *raster* declividade.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Aspectos legais quanto a gestão de resíduos;

Quadro 2 - Equações de projeção populacional pelo método geométrico;

Quadro 3 - Equações de geração *per capita*;

Quadro 4 - Critérios de seleção de área para implantação de aterro sanitário em Pau dos Ferros-RN;

Quadro 5 - Pesos atribuídos aos critérios de seleção de área para implantação de um aterro sanitário;

Quadro 6 - Regras de reclassificação;

Quadro 7 - Projeção populacional anual no período de projeto;

Quadro 8 - Estimativa de habitantes e geração *per capita* de resíduos sólidos em Pau dos Ferros de 2024 a 2038;

Quadro 9 - Estimativa dos volumes de resíduos a serem aterrados e acumulado acrescido de 20% de solo;

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais;

APP - Áreas de Proteção Permanente

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente;

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

MDE - Modelo Digital de Elevação

NBR - Norma Técnica;

PGRS - Plano de Gestão de Resíduos Sólidos;

PMGIRS - Plano Municipal de Gestão Integrada Resíduos Sólidos;

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos;

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos;

SIG - Sistema de Informações Geográficas;

SRC - Sistema de Referência de Coordenadas;

UTM - Universal Transverso de Mercator.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REVISÃO TEÓRICA	15
3.1. GERENCIAMENTO E MANEJO DE RESÍDUOS	15
3.2. DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS	16
3.3. ASPECTOS TÉCNICOS E LEGAIS DOS ATERROS SANITÁRIOS	19
3.4. LOCAÇÃO DE ÁREAS PARA ATERROS	22
3.5. GEOTECNOLOGIAS PARA SUPORTE A SELEÇÃO DE ÁREAS	24
4. MATERIAL E MÉTODOS METODOLOGIA	25
4.1. ÁREA DE ESTUDO	25
4.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1. PROJEÇÃO POPULACIONAL	34
5.2. GERAÇÃO PER CAPITA DE RESÍDUOS	35
5.3. SELEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA ÁREA NECESSÁRIA PARA O ATERRO	36
5.4. ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DAS ÁREAS PROPÍCIAS PARA IMPLANTAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO	38
6. CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	46
APÊNDICE	52

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção de resíduos aumenta exponencialmente, e cada indivíduo é responsável por produzir cerca de 1,07 Kg de lixo por dia (ABRELPE, 2022). Sendo que a produção de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) está diretamente relacionada ao consumo e aquisição de bens materiais. Em comparação com outras regiões do país, a região Nordeste tem a menor parcela de produção de resíduos, correspondendo a apenas 4%, enquanto a região Sudeste é responsável por cerca de 113 mil toneladas de resíduos diariamente, representando 50% da produção total do país (ABRELPE, 2022).

O setor de saneamento básico é marcado por sua heterogeneidade e déficit no Brasil, com uma grande disparidade entre as diferentes regiões do país. Isso ocorre principalmente em razão da gestão ambiental ineficiente dos administradores municipais. A implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos e do Novo Marco Legal do Saneamento Básico apresenta desafios significativos que requerem o engajamento da comunidade, empresariado e do poder público, conforme destacado por Maiello, Britto e Valle (2018).

Nesse contexto, Carvalho (2022) elenca que a geração diária de resíduos no Brasil é de 240 toneladas, entretanto, sendo aproximadamente apenas 2% dos resíduos coletados, destinados a processos de reciclagem. Desta forma, resultando na disposição final em aterros ou em vazadouros, uma vez que tais materiais passíveis de reinserção na cadeia produtiva não são devidamente segregados e aproveitados.

O descarte inadequado de resíduos pode causar impactos negativos no meio ambiente e na saúde dos seres vivos. Conforme indicado por Soares (2022), no Brasil, esse problema persiste devido à falta de gestão adequada dos resíduos sólidos pelos órgãos municipais que carecem de equipe técnica qualificada (GALVÃO, 2022).

Infelizmente, o cenário de vazadouro a céu aberto é recorrente no Brasil devido à ausência de condições de controle para a disposição final adequada dos resíduos, com isso, faz-se necessário a implementação e instalação de aterros sanitários, em prol de minimizar e evitar danos ambientais aos recursos naturais que restringem o direito de a população atual e futura usufruírem e terem qualidade de vida (MEDEIROS, 2022).

Devido à geração desordenada de resíduos, ocasionada pelo consumismo desenfreado da população, cresce a preocupação da destinação ambientalmente adequada, medida prevista em Lei pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Lei nº 12.305/2010) e pelo Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020). Onde municípios com população inferior a 50 mil habitantes no Censo de 2010, têm até o dia 2 de agosto de 2024 para destinar

os resíduos gerados pela população a locais ambientalmente adequados (BRASIL, 2020), dependendo do tipo de resíduo tem-se o aterro sanitário, a compostagem, o biodigestor, a reciclagem e a logística reversa, sendo fundamental a busca por soluções de adequação às exigências legais ambientais vigentes (BOIN *et al.*, 2022).

O aterro sanitário traz benefícios para a sociedade e o meio ambiente, como a captação de gases de efeito estufa, o tratamento do chorume, a recuperação de energia por meio do biogás e a venda de créditos de carbono. Isso torna o município bem-visto perante a sociedade e aumenta a possibilidade de receber repasses financeiros da união (MELLO, 2022; SANTOS, 2021; COSTA, 2020; LOPES, 2017).

No entanto, selecionar uma área apta a receber as estruturas de um aterro sanitário não é fácil, porém é essencial, e necessita levar em consideração diversos fatores, desde sociais, econômicos, geológicos e logística, que atendam a todas as restrições legais e técnicas para que seja o ambiente mais seguro à impactos ambientais negativos (MEDEIROS, 2022). O uso das geotecnologias permitem a coleta, processamento e análise dos dados, o que auxilia na busca e seleção da área propícia para uso de aterro sanitário, sendo uma ferramenta aliada no planejamento e gestão do território geoespacial, permitindo uma tomada de decisão mais informada e embasada em dados precisos e atualizados (MARCOS *et al.*, 2022; ZUQUETTE, 2015).

Por meio do Sistema de Informações Geográficas (SIG) é possível realizar a busca pela área mais adequada para disposição final dos rejeitos do município, isso se deve à capacidade do SIG de aproveitar dados já existentes e a criação de novos rapidamente. Como resultado, tornam os resultados das análises mais compreensíveis e conscientes (MARCOS *et al.*, 2022).

Mediante a realidade dos municípios brasileiros, em que encontram dificuldades financeiras e técnicas para implementação destes sistemas e consequente adequação à legislação ambiental vigente, tem-se a proposta deste trabalho, em auxiliar o município de Pau dos Ferros - RN a encontrar uma possível área apta à construção do aterro sanitário, baseado em critérios técnicos e legais.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Identificar potenciais áreas para implantação de um aterro sanitário em Pau dos Ferros - RN, baseado em aspectos técnicos e legais vigentes, por meio da realização de análise do território municipal com emprego de geotecnologias para suporte à tomada de decisão.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elencar as condições técnicas e ambientais para viabilizar a implantação e operação segura de um aterro sanitário;
- Estimar a projeção populacional de 15 anos do município, tal como a geração de resíduos sólidos da população do município de Pau dos Ferros;
- Projetar dimensões de área necessária para a alocação de aterro sanitário;
- Realizar análise integrada dos atributos geotécnicos do município; e
- Selecionar possíveis áreas propensas para implantação de um aterro sanitário;

3. REVISÃO TEÓRICA

3.1. GERENCIAMENTO E MANEJO DE RESÍDUOS

O gerenciamento de resíduos sólidos é uma ferramenta essencial para os geradores planejarem a forma de manejo e, conseqüentemente, minimizar os possíveis impactos ambientais negativos ao meio ambiente e a biodiversidade, sendo sua importância relacionada diretamente com todas as esferas da gestão municipal, como a secretaria da educação, transporte, obras, planejamento, saúde, cultura, meio ambiente, emprego e renda, finanças, comunicação, social e agricultura. Sendo a saúde e o bem-estar social resultado do equilíbrio ambiental (VIEIRA, 2023).

Dito isso, conforme previsto na PNRS, os grandes geradores devem elaborar um documento de gestão dos resíduos sólidos no âmbito do empreendimento, chamado de Plano de Gestão de Resíduos Sólidos (PGRS). Em se tratando a nível municipal, estes por sua vez, a gestão deve elaborar um Plano Municipal de Gestão Integrada Resíduos Sólidos (PMGIRS) que discrimine as formas com que os municípios irão lidar com seus resíduos, bem como prever sua destinação ambientalmente adequada, seu armazenamento temporário em estações de transbordo e a forma de transportar esses resíduos, por meio de ações voltadas para a redução, reutilização e a reciclagem (MATTOS, 2022).

O gerenciamento dos RSU é condicionado por diversos fatores, como o desenvolvimento econômico e populacional, a urbanização, a infraestrutura e a legislação (ESPINOZA, 2022). Além disso, a ausência de políticas públicas efetivas e de conscientização da população sobre a importância da gestão adequada dos resíduos são fatores que também influenciam no gerenciamento. Além disso, a legislação ambiental e sanitária é outro fator relevante, pois estabelece diretrizes e normas a serem seguidas pelos municípios e empresas responsáveis pela gestão dos resíduos (ESPINOZA, 2022; DEUS, 2019; JÚNIOR, 2019).

Já o manejo dos resíduos integrado dentro do gerenciamento, consiste em uma série de operações de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequadamente dos resíduos gerados nas cidades. É importante promover políticas de conscientização da população sobre a importância da redução, reutilização e reciclagem dos resíduos recicláveis e seguir as normas e regulamentos para minimizar os impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública (FEITOSA *et al.*, 2020).

Concomitante a isso, a falta de manejo adequado dos resíduos sólidos prejudica a qualidade de vida da população, não apenas em aspectos paisagístico, mas também nas questões urbanas, na liberdade em usufruir os recursos naturais e espaços urbanos, devido ao incômodo proveniente do mau cheiro exalado pela decomposição da fração orgânica dos resíduos, na proliferação de doenças, nas questões econômicas e sociais dos municípios, assim como nos sistemas de esgotamento sanitário e de captação de águas pluviais, ocasionando o entupimentos destes sistemas e gerando alagamento e transtorno social (DAMASIO *et al.*, 2022).

3.2. DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS

A disposição de resíduos sólidos refere-se à maneira como os resíduos são colocados ou armazenados em um local, seja em aterros sanitários, vazadouros a céu aberto, aterros controlados ou outros locais. O objetivo da disposição de resíduos é garantir a segurança ambiental e proteger a saúde pública, o que nem sempre é cumprido pelos municípios. Para isso, tem-se os aterros sanitários, usinas de incineração, a compostagem, a coleta seletiva e a reciclagem, que são locais projetados para a disposição adequada de resíduos (VIEIRA *et al.*, 2023).

A realidade dos vazadouros brasileiros é alarmante, pois é comum que pessoas e animais busquem alimentos e materiais recicláveis como forma de sobrevivência e geração de renda. Entretanto, este ambiente é extremamente insalubre e perigoso, principalmente em períodos chuvosos quando o lixiviado é despejado no solo sem tratamento adequado (Figura 1). Além disso, a decomposição dos resíduos gera gases tóxicos e de efeito estufa que, em contato direto ou inalados, podem causar doenças irreversíveis e levar e até mesmo levar à morte (CARVALHO, 2022).

Figura 1 - Vazadouro a céu aberto de Pau dos Ferros - RN



Fonte: Autor (2023)

Dentre os mecanismos de disposição final ambientalmente adequado tem-se o aterro sanitário, considerado ideal para disposição final dos rejeitos produzidos pela população, pois não há outra forma de tratamento dos resíduos, restando apenas a disposição final adequada (BOIN, 2022). A estrutura física do aterro sanitário conta com equipamentos e mecanismos de controle da poluição e contaminação dos compartimentos ambientais, em que os líquidos e gases gerados pela decomposição da fração orgânica são coletados e tratados (NETO, 2022).

Figura 2 - Aterro Sanitário de Salgueiro - PE. A) Lagoa de chorume; B) Queimador do biogás



Fonte: Autor (2023)

A compostagem é outro mecanismo ideal que consiste na decomposição da fração orgânica dos resíduos urbanos coletados que, após estabilização, são convertidos em adubos com alto poder nutricional (PEREIRA, 2023), fazendo com que haja uma redução no volume de resíduos que outrora era destinado ao aterro sanitário, e consequentemente ocasiona em um aumento do tempo de vida útil desta ferramenta de disposição de rejeito (CARVALHO *et al.*, 2023).

As usinas de incineração são instalações que realizam a queima dos resíduos sólidos urbanos e podem gerar energia a partir do calor produzido pela queima (ARAÚJO, 2020). Neste sentido, a recuperação energética de resíduos através deste mecanismo pode ser vantajosa do ponto de vista ambiental em comparação a outros meios de disposição, devido ao uso de equipamentos modernos e tecnológicos, bem como se houver filtros que retenham gases e partículas poluidoras, que contribuem para o efeito estufa (GUATTA, 2021). Além disso, a análise econômico-financeira depende da composição do resíduo, da capacidade de geração de energia elétrica, da legislação local, do custo da mão de obra, entre outros fatores e, todas essas variáveis afetam o fluxo de caixa do empreendimento e, consequentemente, sua viabilidade econômica (SCARAFIZ, 2023).

Já a coleta seletiva e a reciclagem, são importantes para a preservação do meio ambiente, na promoção de uma economia circular e para a geração de emprego e renda. A reciclagem é o processo de transformação dos materiais recicláveis em novos produtos, o que reduz a quantidade de lixo produzido, diminui a emissão de gases de efeito estufa e a necessidade de extração de recursos naturais. A coleta seletiva é um processo em que materiais recicláveis são separados e encaminhados para a reciclagem, permitindo que materiais como papel, plástico, vidro e metais sejam transformados em novos produtos, reduzindo a

necessidade de extração de matérias-primas e diminuindo a quantidade de resíduos que vão para os aterros sanitários (OLIVEIRA *et al.*, 2022).

De acordo com dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, publicado pela ABRELPE em 2021, demonstra que 60% dos resíduos gerados nas cidades brasileiras têm destinação adequada, mas ainda 40% dos municípios dispõem seus resíduos em locais inadequados como os lixões e aterros controlados. O Nordeste brasileiro apresenta desafios significativos quanto à gestão de resíduos sólidos urbanos, em que no ano de 2020 apenas 51,2% dos resíduos gerados na região têm destinação adequada, representando apenas 45% dos municípios nordestinos, sendo 33,3% usuários de lixões (ABRELPE, 2022).

Segundo Lira (2019) o Rio Grande do Norte tem muitos desafios a enfrentar em prol de garantir uma disposição final ambientalmente adequada de resíduos no estado. Entre as recomendações apresentadas estão a necessidade de investimentos em infraestrutura e tecnologia, o fortalecimento da participação social e o estabelecimento de parcerias público-privadas e a promoção de campanhas educativas para conscientização da população.

Soares (2022) ao realizar pesquisa sobre os impactos ambientais do descarte inadequado de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) na cidade de Areia Branca/RN, constatou que o Consórcio Regional do Vale do Açu poderia ajudar na gestão destes, no entanto, a distância entre Açu e Areia Branca dificultaria o transporte dos resíduos até o Aterro Sanitário do consórcio. Diante desse cenário, os gestores municipais optaram por depositar estes resíduos em um Vazadouro a Céu Aberto localizado na BR-110.

Pau dos Ferros - RN não distingue deste cenário irregular de disposição dos resíduos, onde atualmente constata-se, por visitas *in loco*, a presença de residências nos limites do vazadouro a céu aberto. Assim como, percebe-se o arraste de resíduos por ação dos ventos para áreas próximas, bem como o arraste de gases poluentes e de efeito estufa para a malha urbana municipal, o que pode ocasionar em incidência e aumento dos números de casos de doenças respiratórias na população residente nas áreas de influência direta do Lixão. Concomitante a isso, percebe-se uma área de afloramento de chorume e de materiais rochosos da rocha-mãe, sendo percebido uma coloração branca, que é característica de solos salinos (COSTA, 2020; MENDONÇA, 2020; NOBRE, 2021).

3.3. ASPECTOS TÉCNICOS E LEGAIS DOS ATERROS SANITÁRIOS

Em prol de regular esta atividade em aterros sanitários, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou Normas Técnicas (NBR) que discriminam sobre a maneira

adequada de armazenamento dos resíduos sólidos, estabelece critérios para projeto, implantação e operação de Aterros Sanitários de resíduos não perigosos, especifica requisitos para transporte terrestre de resíduos para evitar danos ao meio ambiente e a proteger a saúde pública e classificam os resíduos quanto a sua periculosidade, sendo respectivamente NBR 11.174/90, NBR 13.896/1997, NBR 13.221/2003 e NBR 10.004/2004.

Quanto a legislação vigente, o Brasil detém a Lei nº 11.107/05 que dispõe sobre consórcios públicos, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/10), a Portaria Interministerial nº 274/2019 que disciplina a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, o Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/20) e mais recentemente tem-se o Decreto nº 11.043/22 que institui o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (JUCÁ, 2003; CARIM, 2022; MARCOS *et al.*, 2022).

Somado a isso, Marcos et al. (2022) e Boin et al. (2022) afirmam que em municípios detentores de aeródromos/aeroportos, o processo de escolha da área para o aterro sanitário torna-se mais difícil, pois a resolução do CONAMA nº 004/1995 e a Portaria 798/GC3 de julho de 2020, do Ministério da Defesa Comando da Aeronáutica, estabelecem Área de Segurança Aeroportuária, tornando indisponíveis áreas a menos de 8km destes.

Nessa perspectiva, sabe-se que segundo a Lei nº 12.651/2012 (Novo Código Florestal) Áreas de Proteção Permanente (APP's) são restritas à implantação de aterro sanitário, sendo instituído limites de distanciamento a corpos hídricos (até 500 m, dependendo da largura do curso d'água) e zonas de encosta (entre 50 m e 100 m, com declividade superior a 45°). Somado a isso, áreas com declividade superior a 15% não são indicadas, pois inviabiliza o traslado dos veículos compactadores e de transporte dos rejeitos coletados, consequentemente aumenta o número de frotas, de funcionários e emissão de gases originados da queima de combustível fóssil. Com relação a mancha urbana, segundo a NBR 13.896/1997, deve-se adotar distanciamento superior a 500 m de núcleos populacionais, e mínimo de 2 km de centros urbanos, como ilustrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Aspectos legais quanto a gestão de resíduos

ASPECTO LEGAL	OBJETIVO
NBR 11.174/1990	Estabelece condições mínimas necessárias ao armazenamento de resíduos das classes II (não inertes) e III (inertes), em prol de proteger a saúde pública e o meio ambiente.
CONAMA nº 004/1995	Estabelece distância mínima entre atividades que possam gerar riscos à segurança e bem-estar da população e aeródromos. Com isso, é estabelecida a zona de proteção aeroportuária, com o objetivo de garantir a segurança das operações aéreas, minimizando os riscos de acidentes causados por interferências externas.
NBR 13.896/1997	Estabelece critérios e condições mínimas para o projeto, a implantação e operação de aterros sanitários de resíduos não perigosos, tendo por objetivo principal a proteção de mananciais hídricos superficiais e subterrâneas nas proximidades da instalação, bem como proteger operadores/trabalhadores destas instalações e a população circunvizinha.
NBR 13.221/2003	Especifica requisitos mínimos para transporte terrestre dos resíduos, para evitar danos ambientais e garantir a segurança da população.
NBR 10.004/2004	Classifica os resíduos quanto a sua periculosidade e aos seus riscos potenciais negativos ao meio ambiente e a saúde da população, a fim de proporcionar eficiência no gerenciamento dos resíduos.
Lei nº 11.107/2005	Dispõe sobre normas gerais para a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios poderem contratar consórcios públicos para realizar serviços com objetivos de interesse comum.
Lei nº 12.305/10	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e estabelece diretrizes e princípios para a gestão integrada e o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos no Brasil, visando a redução dos resíduos gerados pela

	população, incentivando a reciclagem e a reutilização destes resíduos recicláveis, inserindo a figura do catador como agente ambiental.
Lei nº 12.651/2012	Estabelece diretrizes e normas para proteção da vegetação, instituindo e delimitando áreas de preservação.
Portaria Interministerial nº 274/2019	Estabelece diretrizes e critérios técnicos para a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, com o objetivo de promoção da sustentabilidade e uso de fontes renováveis de energia.
Lei nº 14.026/2020	O Novo Marco Legal do Saneamento Básico prevê a universalização dos serviços de saneamento básico até 31 de dezembro de 2033, objetivando garantir o acesso à água potável, coleta e tratamento de esgoto para toda a população.
Portaria 798/GC3 de julho de 2020	Aprova o Plano Básico de Gerenciamento de Risco de Fauna nos aeródromos brasileiros. Regulamenta normas de segurança para as atividades aéreas no Brasil, com o objetivo de garantir a segurança de todos os envolvidos na aviação, desde os passageiros até os profissionais do setor.
Decreto nº 11.043/22	O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) estabelece nacionalmente regras para a gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos, visando a redução da geração, a reutilização e reciclagem dos resíduos, bem como sua destinação final ambientalmente segura.

Fonte: Autor (2023)

3.4. LOCAÇÃO DE ÁREAS PARA ATERROS

O processo de escolha de uma área para instalação de um aterro sanitário municipal é uma tarefa complexa, visto que o ambiente natural é dinâmico, possuindo diversas interações entre os meios bióticos e abióticos. Somado a isso, tem-se as questões sociais, políticas e econômicas (BOIN *et al.*, 2022). Porém, no Brasil, a extinção das áreas de vazadouro a céu

aberto e aterro controlado têm prazo até o dia 2 de agosto de 2024 (BRASIL, 2020), com isso, é imprescindível que os gestores municipais realizem o procedimento de escolha das prováveis áreas para implantação do aterro sanitário municipal com prazo de vida útil e tamanho estabelecidos pela NBR 13.896/97, sendo de no mínimo 10 anos (BRASIL, 1997).

Outro ponto relevante é a necessidade de compatibilização de vários critérios, em que seja priorizado o equilíbrio dos aspectos “sociais, ambientais, econômicas, geotécnicas, topográficos, hidrogeológicos, hidrográficos” e demais restrições previstas em Normas Técnicas (NBR) e Leis ambientais vigentes. Além disso, a área selecionada deve ser suficiente para suportar a demanda de geração *per capita* de resíduos pela população atual e futura do município (NEVES *et al.*, 2022 *apud* BARROS, 2012, p. 231).

Torres (2020) relata que realizou o processo de seleção de área para implantação de aterro sanitário de pequeno porte (para municípios com população inferior a 20.000 habitantes) na cidade de São João do Rio do Peixe - PB por meio do uso de técnicas de geoprocessamento e referenciando-se com a CONAMA nº 404/2008 e NBR nº 15.849/2010. Com isso, fez uso de critérios para a seleção variando entre uso e ocupação do solo, distanciamento dos corpos hídricos, de rodovias, zona urbana e zona urbana com aeroporto em funcionamento. Por fim, fez-se um comparativo para o município onde não haja aeroporto tem-se 29,6 km² de área adequada para a inserção do aterro sanitário, mas quando conta com o aeroporto obtém-se apenas 14,6 km² de áreas adequadas.

Para Marcos et al. (2022), em seu trabalho que objetivou a seleção de áreas propícias à implantação de aterro sanitário no município de Lavras - MG, adotaram como critérios a declividade da área, o distanciamento de corpos hídricos, de núcleos urbanos e de vias públicas. Sendo classificado como área inapropriada as que obtiverem os seguintes parâmetros: declividade variando entre 0 e 30%, distância inferior a 300 m de corpos hídricos, distância inferior a 500 m de núcleos urbanos e distância inferior a 100 m de vias públicas. Com isso, observaram que o aeroporto era uma grande dificuldade de seleção, pois requer distanciamento de 20 km, e para obterem resultado satisfatório, necessitou-se reduzir o distanciamento de corpos hídricos para 200 m a fim de lograr êxito de três áreas aptas, de 46,57 hectares, 67,77 hectares e 72,23 hectares.

Somado a isso, Dutra et al. (2019) em seu trabalho que objetivou a seleção de área para implantação de aterros sanitários, também fazendo uso de ferramentas de geoprocessamento, para o município de Esmeraldas - MG, assumiram valores pré-estabelecidos com embasamento técnico-legal, por meio da COPAM nº 52/2001, COPAM nº 118/2008 e NBR nº 8.419/1992. Sendo as variáveis adotadas para a seleção de área mais

adequada os dados do solo, das rodovias, ferrovias, da hidrografia, uso e ocupação do solo e a altimetria do relevo municipal. Com isso, observaram que a cidade possui um total de seis áreas favoráveis para a construção, porém, é de suma importância a visita *in loco* para auxiliar no processo de escolha da área.

3.5. GEOTECNOLOGIAS PARA SUPORTE A SELEÇÃO DE ÁREAS

O uso das geotecnologias para seleção de áreas propícias à atividade de aterro sanitário é primordial, pois segundo a definição dada pelo IBAM (2015), essas são um conjunto de tecnologias capazes de combinar o comportamento espacial a processo de geração de informações sobre esses dados, através da localização, extensão e formato. Neste sentido, compreende-se como sendo o estudo do processamento de informações georreferenciadas (PIROLI, 2010).

O SIG é uma das principais geotecnologias, sendo uma coleção de software, hardware, dados geográficos e profissionais que facilitam a tomada de decisão envolvendo informações georreferenciadas (LOPES, 2022). Somado a isso, o SIG é capaz de combinar diferentes informações, sendo estas oriundas de dados cartográficos, censitários e imagens de satélites para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geográficos, para que seja feito a seleção de área do Aterro Sanitário (NEVES *et al.*, 2022).

O estudo realizado por Silva (2022), que objetivou pré-selecionar áreas aptas à instalação de aterro sanitário nos municípios Marituba, Belém e Ananindeua com o uso de SIG, *software* QGIS versão 3.22.11, obteve 74,85% dos territórios restrito, devido ao critério de proximidade a corpos hídricos ter sido o mais restritivo dentre rodovias federais e estaduais, aeroportos e aeródromos, unidades de conservação, mancha urbana, dentre outros. Com isso, foi possível pré-selecionar cinco áreas, sendo três classificadas como boas para implantação do sistema de aterro sanitário, atendendo aos objetivos propostos e servindo de referência para posteriores estudos detalhados.

Já o estudo realizado por Cardoso, Blanco e Friaes (2022) que buscou selecionar áreas para implantação de aterro sanitário na Região de Integração (RI) do município de Tocantins - PA, identificou seis áreas potenciais, através do uso de SIG, adotando os critérios baseados na NBR nº 15.849/2010 e CONAMA nº 404/2008. Sendo estes critérios o tempo de vida útil do aterro maior ou igual a vinte anos, a declividade sendo inferior a 30%, distanciamento de estradas inferior a 300 m, distância de recursos hídricos maior que 200 m, distância mínima de rodovias e ferrovias de 100m, distância mínima de mancha urbana 2 km, de aeroportos e

aeródromos (20 km) e solos com baixa permeabilidade. Com isso, as técnicas adotadas pelos autores se mostraram eficazes para identificar preliminarmente potenciais áreas para implantação de aterro sanitário, servindo de auxílio aos gestores municipais na tomada de decisão.

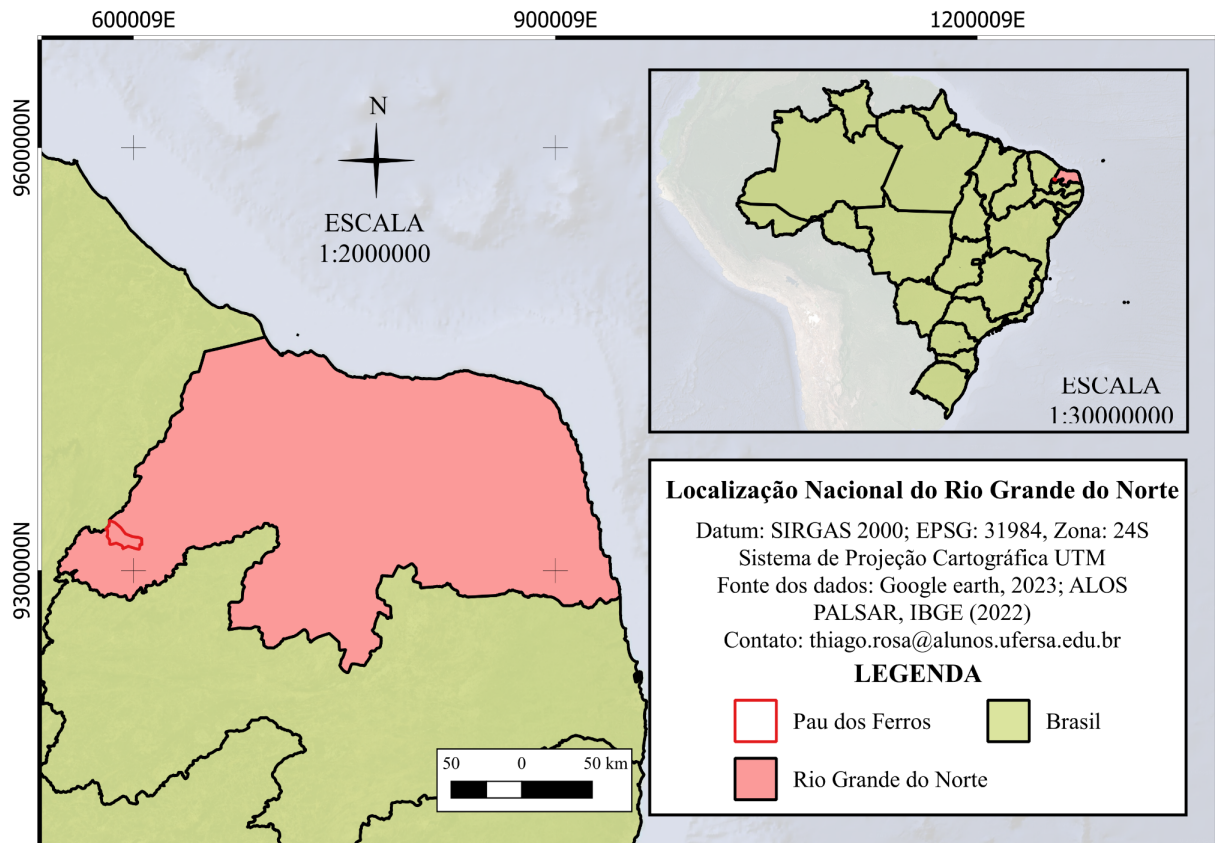
Sob esse viés, Adriano (2022) buscou pré-selecionar áreas para implantação de um aterro no município de Açailândia - MA, adotando sete critérios de seleção: uso e ocupação do solo, corpos hídricos, mancha urbana, tipos de solo, declividade, rodovias e área de segurança aeroportuária. Portanto, ao todo dezesseis áreas foram encontradas aptas para a implantação, considerando o as dimensões de área dimensionada.

4. MATERIAL E MÉTODOS METODOLOGIA

4.1. ÁREA DE ESTUDO

O município de Pau dos Ferros tem uma população estimada em 30.394 mil habitantes, sendo 63,6% desta população residente na área urbana. Está localizado a oeste do estado brasileiro Rio Grande do Norte (Figura 3), distante aproximadamente 400 km da capital Natal, possui uma área total de 259,96 km², o que corresponde a 0,52% da superfície do estado (IBGE, 2019). De acordo com Alvares (2013) pela classificação *Köppen-Geiger*, o município é caracterizado por ser semiárido, com chuvas escassas e temperatura elevada. Outrossim, está inserido na bacia hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró, que possui grande importância na região, possuindo diversos usos, como abastecimento humano, irrigação e geração de energia.

Figura 3 - Localização Nacional do Rio Grande do Norte



Fonte: Autor (2023)

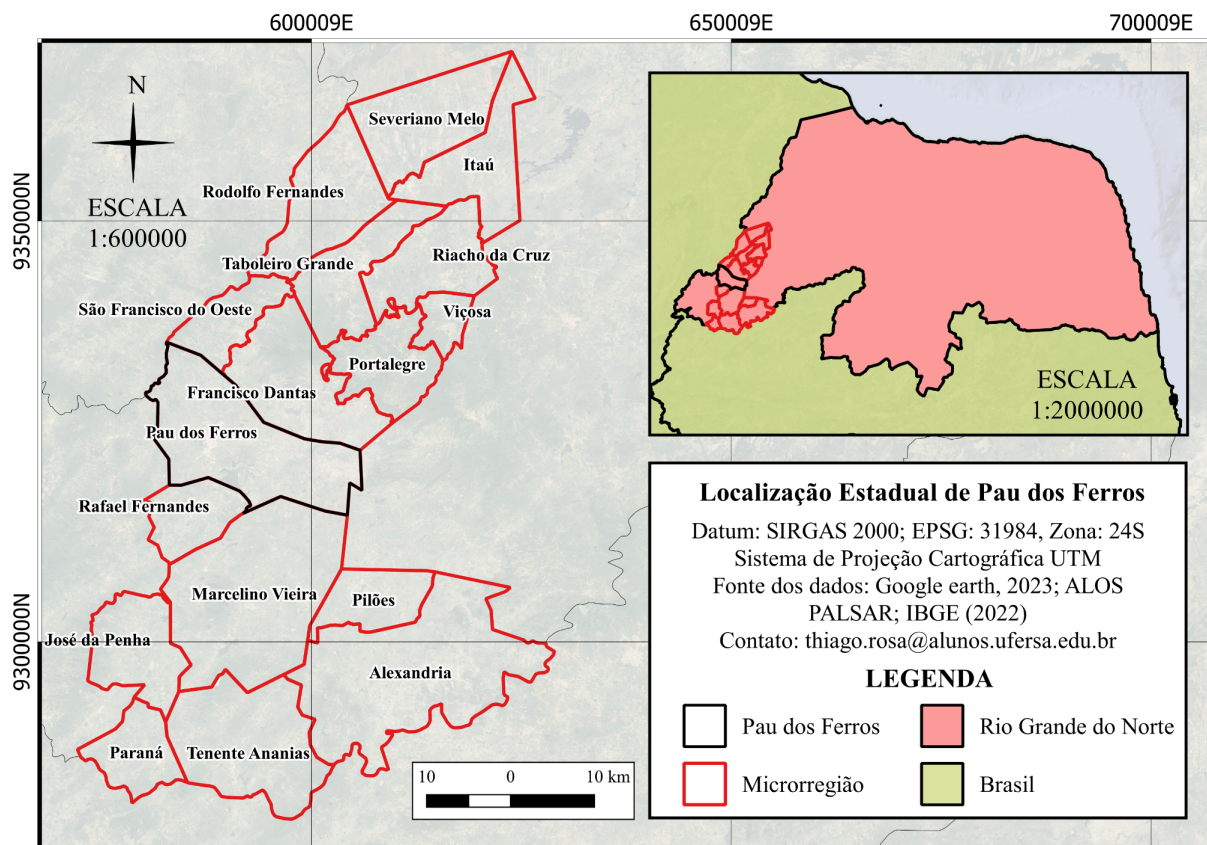
O município tem bioma caatinga, com vegetação de espécies adaptadas às condições climáticas do semiárido, que suportam longos períodos de estiagem (LIMA, SOUTO, FILHO, 2020).

Os aspectos geológicos de Pau dos Ferros são variados, mas a Formação Jaguaretama domina toda a parte central do município. Sua formação geológica apresenta leito rochoso cristalino e rochas resistivas consistindo em uma zona pré-cambriana tardia formada pela colisão de blocos continentais e micro continentais (VILAÇA, COSTA, 2020).

Nos últimos anos o município vivenciou uma expansão urbana devido ao loteamento de propriedades privadas, tidas como rurais e, isso se deu por toda a zona urbana e rural. Ademais, é considerado cidade polo na microrregião (Figura 4), onde a população dos municípios limítrofes da microrregião do alto oeste potiguar (Alexandria, Tenente Ananias, Marcelino Vieira, Portalegre, José da Penha, Itaú, Rafael Fernandes, Rodolfo Fernandes, Paraná, São Francisco do Oeste, Pilões, Riacho da Cruz, Francisco Dantas, Taboleiro Grande, Severiano Melo e Viçosa) emigram em busca de trabalho, consultas médicas, compras no

comércio e serviços bancários, automotivo e tabelião (LIMA *et al.*, 2020; RÊGO, 2020; CARVALHO *et al.*, 2023).

Figura 4 - Localização Estadual do Município de Pau dos Ferros e Microrregião



Fonte: Autor (2023)

4.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A proposta deste trabalho foi selecionar possíveis áreas propensas a implantação de um aterro sanitário que atenda uma população futura de Pau dos Ferros no período de 15 anos, por meio de uma análise integrada dos atributos geotécnicos do município, tendo como premissa a viabilidade técnica e econômica, servindo como base para obter a produção de materiais cartográficos para fins de espacialização das áreas com limitações técnicas ou vulnerabilidades.

Para isso, foram analisadas e elencadas as condições técnicas e ambientais que viabilizam a implementação e operação segura de um aterro sanitário, previstas na Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (Lei nº 12.305/2010), no Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020) e nas Normas NBR 8.419/1992 e NBR 15.849, que

dispõem sobre a extinção de vazadouros a céu aberto e aterros controlados até o ano de 2024, bem como apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos.

Em seguida, realizou-se a projeção populacional do município pelo método geométrico (Quadro 2), utilizando-se da série histórica populacional das amostragens dos anos 2018 e 2019 (respectivamente 30.183 habitantes e 30.394 habitantes) realizados no município pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Quadro 2 - Equações de projeção populacional pelo método geométrico

EQUAÇÃO	NUMERAÇÃO
$P_t = P_0 * e^{K_g * (t-t_0)}$	Eq. 1
$K_g = \frac{\ln(P_n) - \ln(P_0)}{t_n - t_0}$	Eq. 2

Fonte: Autor (2023)

Onde:

P_t e t: População e ano da projeção;

P₀ e t₀: População e ano do primeiro dado censitário;

K_g: Coeficiente de projeção geométrica;

P_n e t_n: População e ano referentes ao último dado censitário.

Bem como foi estimado a taxa de crescimento da geração *per capita* da população futura (calculada pela Equação 4) a partir da geração *per capita* calculada por Nobre et al. (2021), sendo este valor de 0,72 kg/hab.dia, por meio da Equação 3 (Quadro 3).

Quadro 3 - Equações de geração *per capita*

EQUAÇÃO	NUMERAÇÃO
$GP_n = GP_0 * TC_p^{(t-t_0)}$	Eq. 3
$TC_p = \left(\frac{GP_n}{GP_0}\right)^{\frac{1}{(t_n-t_0)}}$	Eq. 4

Fonte: Autor (2023)

Onde:

TC_p : Taxa de crescimento *per capita*;

GP_0 e t'_0 : Geração *per capita* e ano inicial;

GP_n e t'_n : Geração *per capita* e ano final.

Para o dimensionamento da área do aterro sanitário que atenda a demanda gerada pela população futura estimada, foi calculado o montante a ser aterrado, levando em consideração a massa específica de resíduos compactados de $0,12068 \text{ t/m}^3$, e que a cada ano deverá ser destinado apenas 35,51% dos resíduos coletados ao aterro sanitário, calculadas por Nobre et al. (2021), pois sabe-se que para este sistema de disposição final deve-se destinar apenas a fração rejeito dos resíduos. Por fim, foi acrescentado 20% do volume total, referente ao solo utilizado para o recobrimento periódico dos resíduos e uma altura de empilhamento de 5m.

Foi usado o *software* QGIS versão 3.22.5 para criar um banco de dados com a cena “AP_04623_FBS_F7060_RT1” do Modelo Digital de Elevação (MDE) do satélite ALOS PALSAR, extraído do *Geophysical Institute of the University of Alaska*, que possui resolução do pixel de 12,5 m, bem como as camadas vetoriais de mancha urbana, vias públicas, corpos hídricos superficiais e unidades de proteção extraídas do complemento HCMGIS (Download Open Data from OSM). Após essa etapa, foi extraída a informação de declividade em porcentagem da camada MDE e o raio de segurança aeroportuária a partir do centróide do arquivo vetorial do aeródromo municipal (8km) com o uso da ferramenta *Buffer*. Além disso, através das ferramentas de extensão *System for Automated Geoscientific Analyses* (SAGA), disponível no QGIS versão 3.22.5, *Fill Sinks* (Wang & Liu) e *Channel network and drainage basins*, foi possível extrair a rede de drenagem do município adotando o limite de detalhamento 8° , para se chegar aos canais principais de drenagem.

Neste sentido, as funções *Fill Sinks* (Wang & Liu) e *Channel network and drainage basins* nativa da ferramenta *System for Automated Geoscientific Analyses* (SAGA), possuem a função de corrigir e identificar depressões superficiais de MDE e, gerar novos arquivos drenagem.

Além disso, os arquivos vetoriais foram convertidos para *raster* por meio da ferramenta “converter vetor para *raster*” na aba “*Raster*”, para realizar o processamento de distanciamento destes critérios.

Com uso do método de análise multicritério, foi possível realizar o processamento e obtenção de potenciais áreas para implantação do aterro sanitário. Este método consiste em combinar os critérios e seus pesos estabelecidos previamente, e com o uso de técnicas de

álgebra de mapas produzir uma camada *raster* que representa a avaliação geral dos critérios em cada localização do mapa. Sob esse viés, auxilia no planejamento do projeto, integrando os diversos dados com seus aspectos de relevância (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Segundo a NBR 13.896/1997, deve-se selecionar áreas para implementação do aterro sanitário que tenha declividade entre 1% e 30%, sendo este fator de escolha referente ao método construtivo e econômico. Com isto, adotou-se que áreas com declividade superior a 15% são inviáveis economicamente para o traslado dos resíduos por meio dos caminhões compactadores.

Em seguida, adotou-se critérios a serem adotados para análise das áreas do município, como ilustrado no Quadro 4:

Quadro 4 - Critérios de seleção de área para implantação de aterro sanitário em Pau dos Ferros-RN

CATEGORIA	CRITÉRIOS	VALOR
Proximidade de estradas e rodovias	Até 2 Km	4
	Entre 2 e 4 Km	3
	Entre 4 e 6 Km	2
	Acima de 6 Km	1
Afastamento de centros urbanos (mancha urbana)	Até 2 Km	Proibido
	Entre 2 e 6 Km	3
	Entre 6 e 10 Km	4
	Entre 10 e 15 Km	2
	Acima de 15 Km	1
Afastamento de corpos hídricos	Até 200 m	Proibido
	Entre 200 e 400 m	1
	Entre 400 e 800 m	2
	Entre 800 e 1.200 m	3
	Acima de 1.200 m	4
Declividade	Entre 0 e 2 %	4
	Entre 2 e 6 %	3
	Entre 6 e 10 %	2

	Entre 10 e 15 %	1
	Acima de 15 %	Não permitido
Áreas de Proteção Permanente (APP) e Área de Segurança Aeroportuária (ASA)	Proibido	

Fonte: Autor (2023)

Além disso, atribuiu-se pesos aos critérios para produção dos mapas temáticos através da análise multicritério, para que seja possível a operação de um aterro sanitário, sendo estes valores estabelecidos com base nos trabalhos realizados por Cardoso *et al.* (2022), Neves (2022), Silva (2022), Torres (2020) e Dutra (2019), conforme ilustrado no Quadro 5:

Quadro 5 - Pesos atribuídos aos critérios de seleção de área para implantação de um aterro sanitário

CATEGORIA	PESOS
Proximidade de estradas e rodovias	25%
Afastamento de centros urbanos (mancha urbana)	25%
Afastamento de corpos hídricos	30%
Declividade	20%
Áreas de Proteção Permanente (APP) e Área de Segurança Aeroportuária (ASA)	Eliminatório

Fonte: Autor (2023)

Na sequência, realizou-se a interseção de todas as camadas vetoriais com o limite municipal censitário, para ser possível reprojetar os Sistemas de Projeção Cartográfica e Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) para UTM zona 24S e Sirgas 2000, EPSG 31984.

Em seguida, foram dissolvidas todas as camadas vetoriais com mais de uma feição, acessando na barra de ferramentas a função vetor, em seguida geoprocessamento e dissolver, com o objetivo de agilizar o cálculo do processamento das funções, pois quando há apenas uma feição esse processo torna-se mais rápido de ser concluído.

Adicionalmente, realizou-se a conversão em lote das camadas vetoriais para *raster*, com o objetivo de classificar as áreas de acordo com os critérios e utilizar a calculadora *raster*

para realizar operações necessárias e isso se deu pela sequência a seguir: na barra de ferramentas acionou-se a opção “*raster*”, em seguida converter vetor para *raster*. Após esta seleção, adotou-se o valor 1 para a opção “valor fixo *to burn*”, unidades georreferenciadas em “unidades de tamanho de saída”, 10 em “resolução horizontal e vertical” e, na opção “atribua um valor sem dados especificado às bandas de saída” digitamos “não definido”.

Agora, em posse das camadas *raster* geradas no passo anterior, criou-se camadas de proximidade para os critérios relacionados a afastamento e proximidade, conforme foi estabelecido no Quadro 4. Na caixa de ferramentas pesquisou-se a opção de “proximidade (distância *raster*)”, sendo realizado esse procedimento para as camadas *raster* de estradas/rodovias, mancha urbana e corpos hídricos, gerada anteriormente, inserindo as informações pré-estabelecidas de aproximação e distanciamento de cada critério. Por fim, faz-se necessário estilizar as camadas selecionando a opção “coordenadas georreferenciadas” em “unidades de distância” e inserir os valores máximos de distância de cada critério e, construir a camada *raster* das áreas proibidas.

Em seguida ao passo anterior, é necessário criar camada por meio da calculadora *raster* para cada área proibida, inserindo na calculadora os critérios estabelecidos anteriormente. Com isso, é gerada uma camada *raster* com valores binários, onde houver áreas com valor 0 são áreas permitidas e 1 áreas proibidas.

Por fim, faz-se o somatório de todas as camadas binárias com o auxílio da calculadora *raster*, gerando uma camada final de proibições.

Agora, faz-se necessário gerar uma nova camada *raster* a partir da camada gerada anteriormente das áreas proibidas, para que se obtenha valores binários. Para isso, usou-se a calculadora *raster* e, foi inserido na “calculadora de expressão” a camada “proibições”, sendo maior que 0. Com isso, onde houver áreas com valor 0 são áreas permitidas e 1 áreas proibidas.

Por fim, realiza-se a reclassificação das camadas *raster* com as informações referente à proximidade de rodovias, proximidade da mancha urbana, proximidade da rede de drenagem e declividade. Para isso, é necessário buscar pela ferramenta “*r.reclass*” na caixa de ferramentas de processamento, onde foi inserido as regras de reclassificação (Quadro 6).

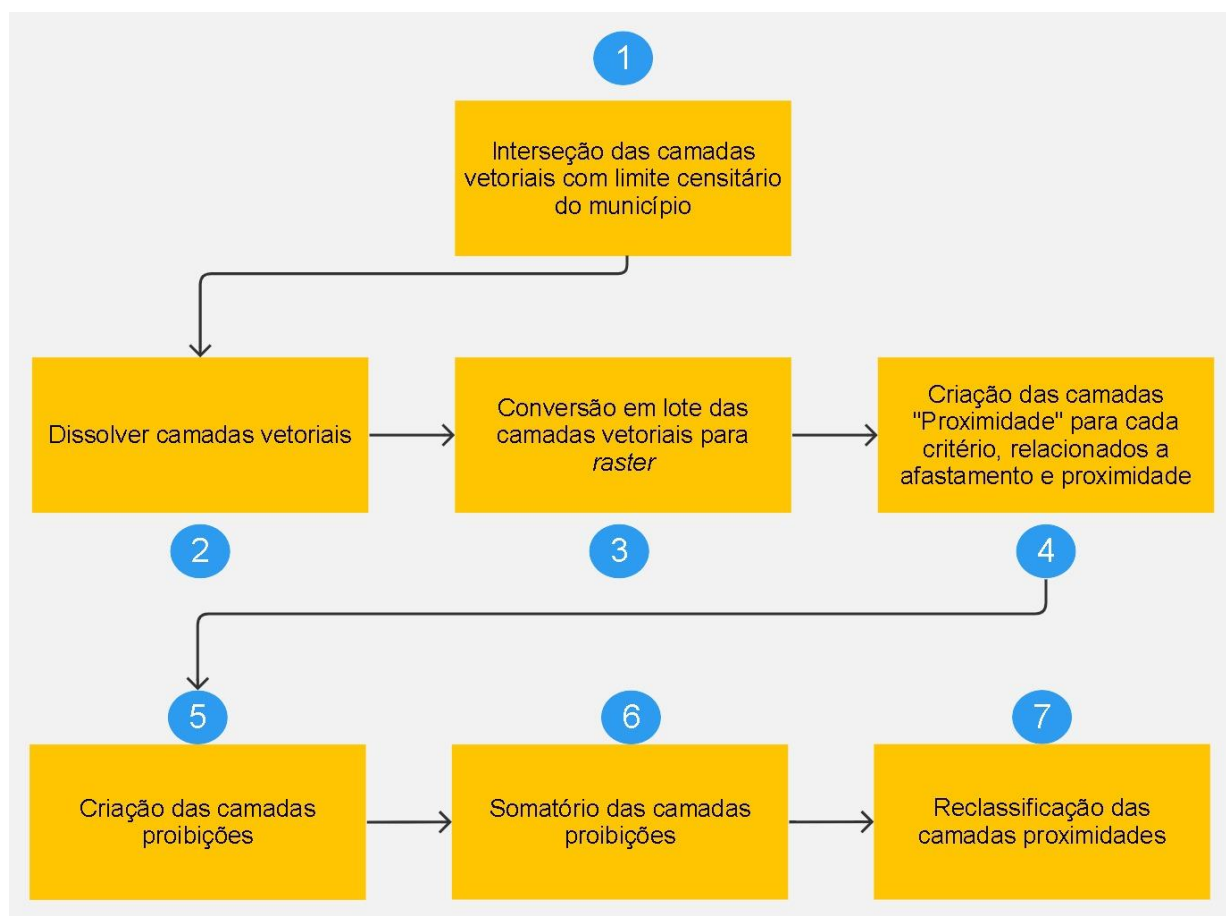
Quadro 6 - Regras de reclassificação

CRITÉRIOS	REGRAS
Proximidade de rodovias	0 thru 2000 = 4 2000.1 thru 4000 = 3 4000.1 thru 6000 = 2 * = 1
Proximidade da mancha urbana	0 thru 6000 = 3 6000.1 thru 10000 = 4 10000.1 thru 15000 = 2 * = 1
Proximidade da rede de drenagem	0 thru 400 = 1 400.1 thru 800 = 2 800.1 thru 1200 = 3 * = 4
Declividade	0 thru 2 = 4 2.1 thru 6 = 3 6.1 thru 10 = 2 10.1 thru 15 = 1 * = 0

Fonte: Autor (2023)

Neste sentido, *thru* é uma função da regra que remete ao intervalo, para informar que valores entre cada critério assume o valor escolhido para a classe.

Figura 5 - Fluxograma do processamento multicritério



Fonte: Autor (2023)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. PROJEÇÃO POPULACIONAL

Utilizando-se a Equação 2, podemos encontrar o coeficiente de projeção geométrica e, em seguida aplicando esse valor na Equação 1 podemos encontrar a população estimada em cada ano, no período de 15 anos do projeto para Pau dos Ferros - RN, como ilustrado no Quadro 7.

Quadro 7 - Projeção populacional anual no período de projeto

ANO	POPULAÇÃO (habitantes)
2024	31.471
2025	31.691

2026	31.913
2027	32.136
2028	32.361
2029	32.587
2030	32.815
2031	33.044
2032	33.275
2033	33.508
2034	33.742
2035	33.978
2036	34.215
2037	34.455
2038	34.695

Fonte: Autor (2023)

5.2. GERAÇÃO PER CAPITA DE RESÍDUOS

A geração de resíduos foi estimada através da Equação 4, necessitando calcular a geração *per capita* de resíduos para a população de Pau dos Ferros nos anos 2018 e 2019. Nesse sentido, foi necessário adotar o valor mais aproximado da realidade atual de geração, o qual foi calculado por Nobre *et al.* (2021), onde a massa total produzida diariamente é de 21.883,68 Kg/dia, e geração *per capita* de 0,72 Kg/hab.dia. Tais dados foram obtidos mediante realização do trabalho de gravimetria. Por fim determinou-se a taxa de crescimento da geração *per capita*, e na sequência, inserindo o valor de Tc na Equação 3, obteve-se a geração de cada ano de funcionamento do aterro em 15 anos, a partir de 2023.

Agora, inserindo essa taxa de crescimento na Equação 3, temos os resultados conforme ilustrado no Quadro 8:

Quadro 8 - Estimativa de habitantes e geração *per capita* de resíduos sólidos em Pau dos Ferros de 2024 a 2038

ANO	POPULAÇÃO (habitantes)	GERAÇÃO PER CAPITA (Kg/hab.dia)	GERAÇÃO PER CAPITA (t/dia)	GERAÇÃO PER CAPITA (t/ano)
2024	31.471	0,72	22,66	8.270,67
2025	31.691		22,82	8.328,48
2026	31.913		22,98	8.386,71
2027	32.136		23,14	8.445,33
2028	32.361		23,30	8.504,37
2029	32.587		23,46	8.563,82
2030	32.815		23,63	8.623,69
2031	33.044		23,79	8.683,98
2032	33.275		23,96	8.744,68
2033	33.508		24,13	8.805,82
2034	33.742		24,29	8.867,37
2035	33.978		24,46	8.929,36
2036	34.215		24,64	8.991,79
2037	34.455		24,81	9.054,64
2038	34.695		24,98	9.117,94

Fonte: Autor (2023)

5.3. SELEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DA ÁREA NECESSÁRIA PARA O ATERRO

Agora, estimando o volume acumulado de resíduos a serem aterrados ao longo dos 15 anos (136.769,14 toneladas), e considerando a destinação ao aterro sanitário apenas a fração de rejeito, sendo este valor encontrado por Nobre et al. (2021) de 35,51% para o município. Por fim, acrescenta-se 20% deste volume, que representa a cobertura de solo necessário para aterrar os resíduos, e adotando a massa específica do resíduo conforme estabelecido por Nobre et al. (2021), de 0,12068 t/m³, teremos um valor de 460.154,06 m³, conforme ilustrado no Quadro 9.

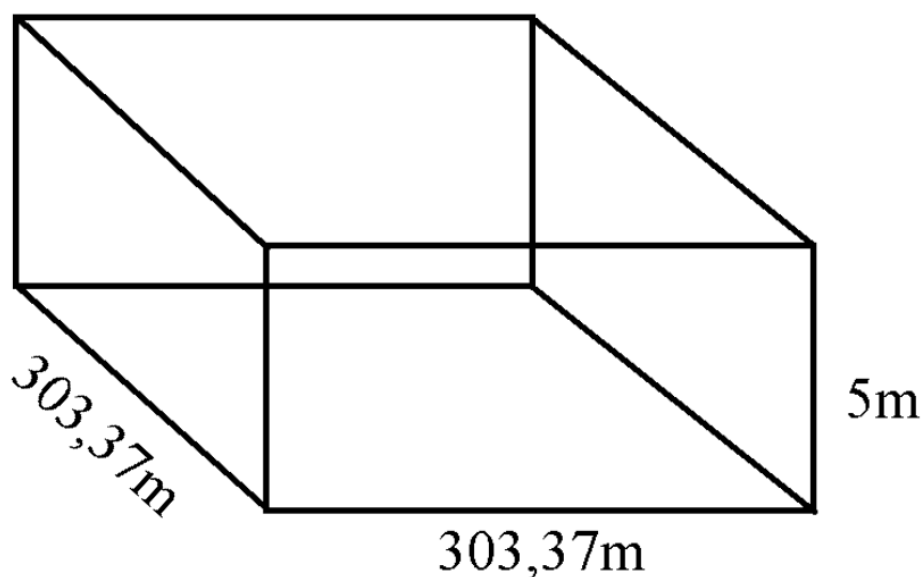
Quadro 9 - Estimativa dos volumes de resíduos a serem aterrados e acumulado acrescido de 20% de solo

GERAÇÃO PER CAPITA (t/ano)	VOLUME A SER ATERRADO (m³/ano)	VOLUME DE REJEITO A SER ATERRADO (m³/ano)	VOLUME ACUMULADO + 20% (m³/ano)
8.270,67	68.533,86	24.336,37	29.203,65
8.328,48	69.012,96	24.506,50	58.611,45
8.386,71	69.495,41	24.677,82	88.224,83
8.445,33	69.981,23	24.850,33	118.045,23
8.504,37	70.470,45	25.024,06	148.074,10
8.563,82	70.963,08	25.198,99	178.312,89
8.623,69	71.459,16	25.375,15	208.763,07
8.683,98	71.958,71	25.552,54	239.426,12
8.744,68	72.461,75	25.731,17	270.303,52
8.805,82	72.968,31	25.911,05	301.396,77
8.867,37	73.478,41	26.092,18	332.707,39
8.929,36	73.992,07	26.274,59	364.236,90
8.991,79	74.509,33	26.458,26	395.986,81
9.054,64	75.030,20	26.643,22	427.958,68
9.117,94	75.554,71	26.829,48	460.154,06

Fonte: Autor (2023)

Com o volume acumulado de resíduos ao longo dos 15 anos de projeto, calculados a área útil do aterro sanitário, dividindo esse volume total pela altura da célula considerada anteriormente de 5m, tem-se uma área total de 92.030,81 m² (ou 9,20 hectares), como ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Dimensões da célula do aterro sanitário proposto



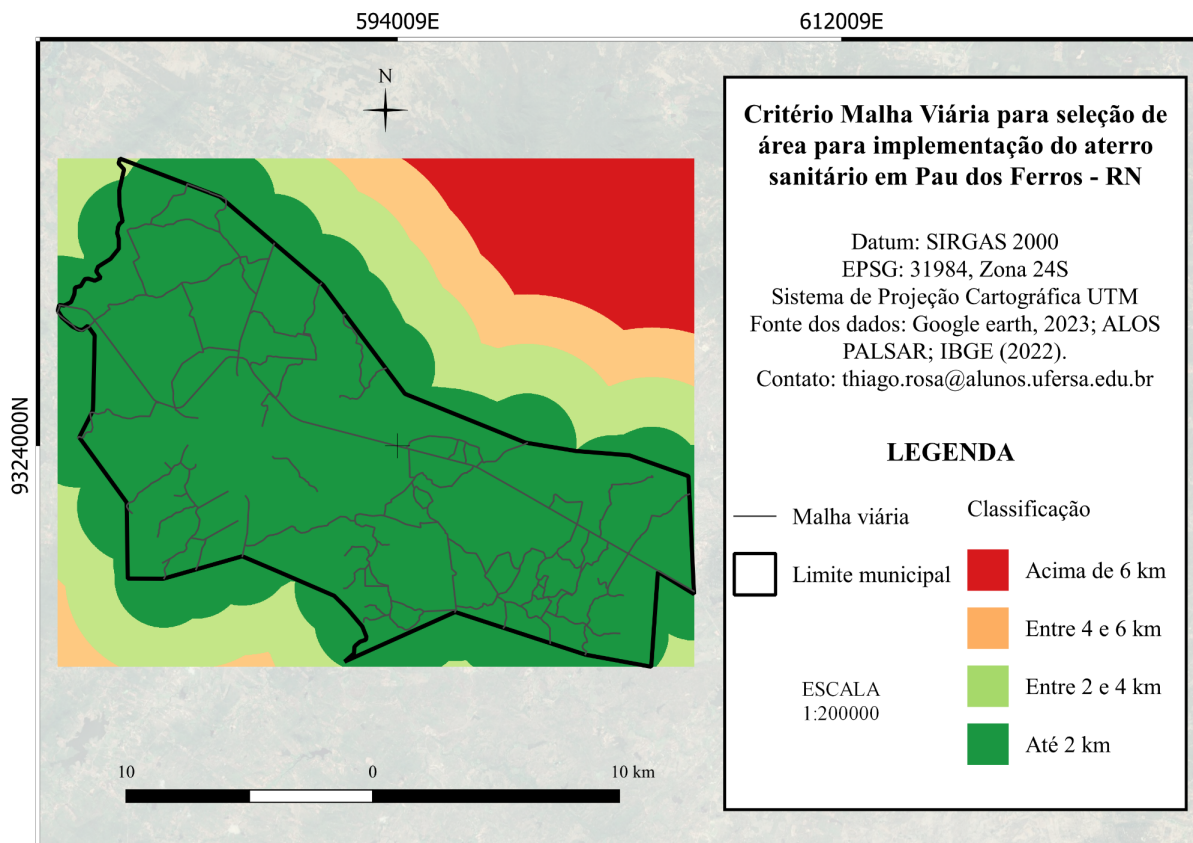
Fonte: Autor (2023)

Ressalta-se que a depender das condições físicas e operacionais da área selecionada para a implantação do aterro sanitário, a fim de manejo, pode-se particionar em quantidades suficientes de células, com dimensões específicas a serem propostas em projeto executivo que suporte o volume de resíduos estimado ($460.154,06 \text{ m}^3$).

5.4. ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DAS ÁREAS PROPÍCIAS PARA IMPLANTAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO

Após a reclassificação, para o critério de proximidade a estradas e rodovias, adotou-se valores de distância suficientes para eficiência no traslado dos resíduos, pois áreas próximas a este critério são de fácil acesso e circulação dos veículos, o que reduz gastos de combustível e frota de veículos. Com isso, observou-se que o município em questão possui uma malha viária bastante ramificada, o que contribui para ter todo o território municipal como muito favorável à implementação do aterro sanitário, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Critério Malha Viária

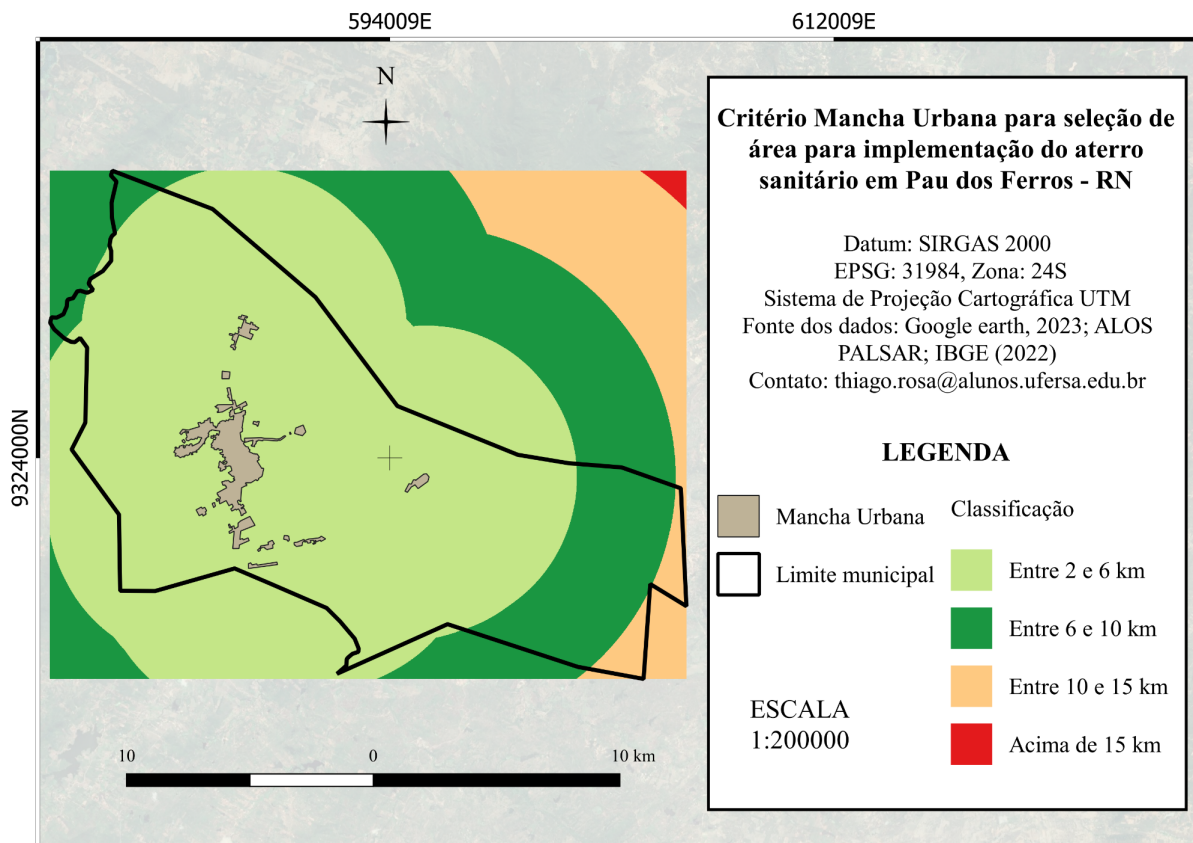


Fonte: Autor (2023)

Dessa forma, este critério não apresenta restrições com o distanciamento, mas recomenda-se que seja realizado visita *in loco* para averiguar as condições físicas da estrada, se há possibilidade de grande fluxo diário de veículos pesados, sem que haja prejuízos ao tempo de rota e, ao bem material da empresa que realizar o serviço de coleta dos resíduos municipais. Somado a isso, é necessário que o percurso até o aterro sanitário seja devidamente sinalizado por meio de placas e itens de trânsito, para que a população tenha a informação da localização do aterro sanitário.

Agora, para o critério de mancha urbana, após a reclassificação, adotou-se o mínimo estabelecido pela NBR 13.896/1997, de 2.000 m, como sendo uma área proibida para implementação do aterro sanitário, com o objetivo de garantir a segurança da população mediante a expansão urbana e rural que possa surgir ao longo do tempo de projeto de 15 anos. Com isso, obteve-se resultado satisfatório à implementação do aterro sanitário, como ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Critério Mancha Urbana

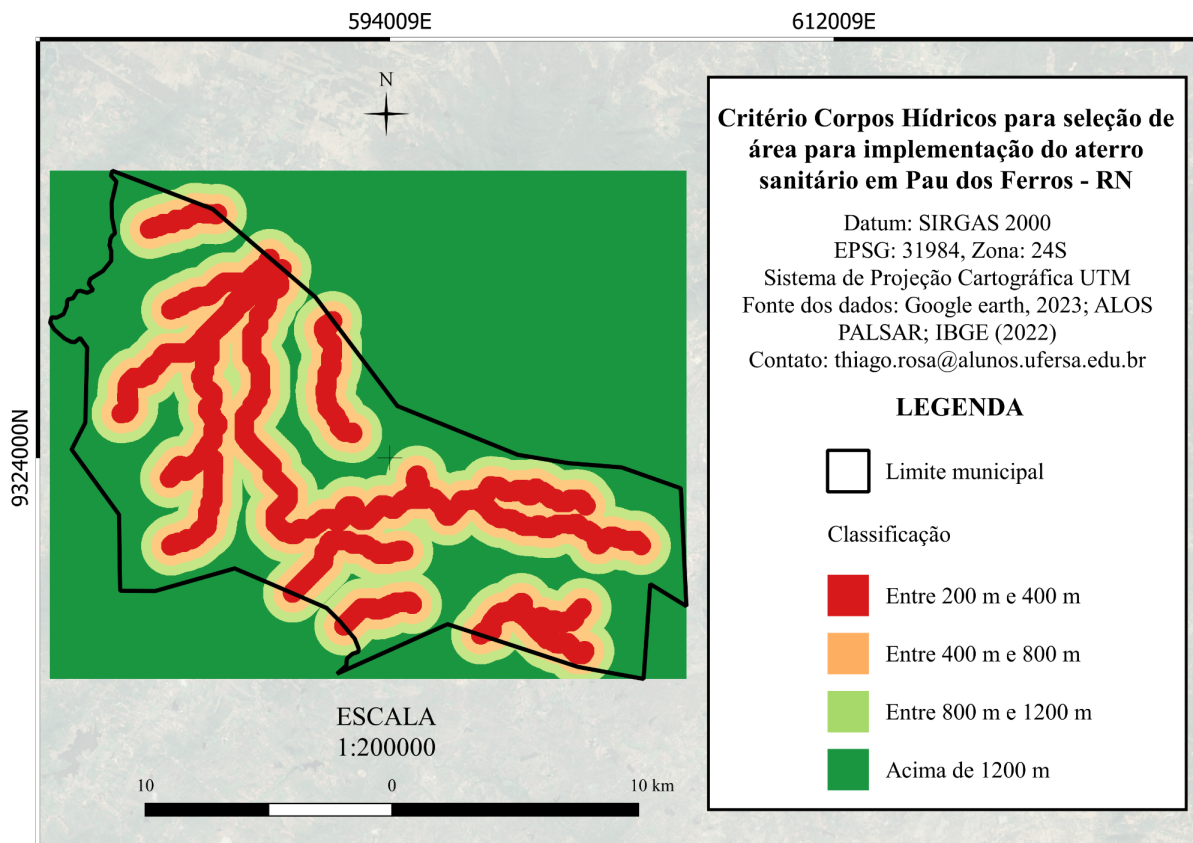


Fonte: Autor (2023)

Desse modo, consegue-se obter grande parte do território municipal com distanciamento suficiente da mancha urbana, entre 2 km e 6 km e entre 6 km e 10 km, sem haver impactos negativos para a população devido ao grande fluxo da frota, como aumento de engarrafamento no trânsito, poluição sonora, emissão de gases provenientes da queima do combustível fóssil e riscos de atropelamento da população transitante. Somado a isso, tem-se uma economia no tempo em que a frota leva para dispor os resíduos no aterro sanitário, bem como na hora de trabalho dos funcionários.

Para o critério de distanciamento da rede de drenagem/corpos hídricos do município, adotou-se o estabelecido pela NBR 13.896/1997, que o aterro sanitário deve estar localizado a uma distância mínima de 200 m. Com isso, pode-se perceber grande espacialização no território do município para este critério, mas que ainda possui áreas com distanciamento suficiente para garantir a qualidade dos mananciais em caso de excepcionalidades, como pode-se observar na Figura 9.

Figura 9 - Critério Rede de Drenagem/Corpos Hídricos

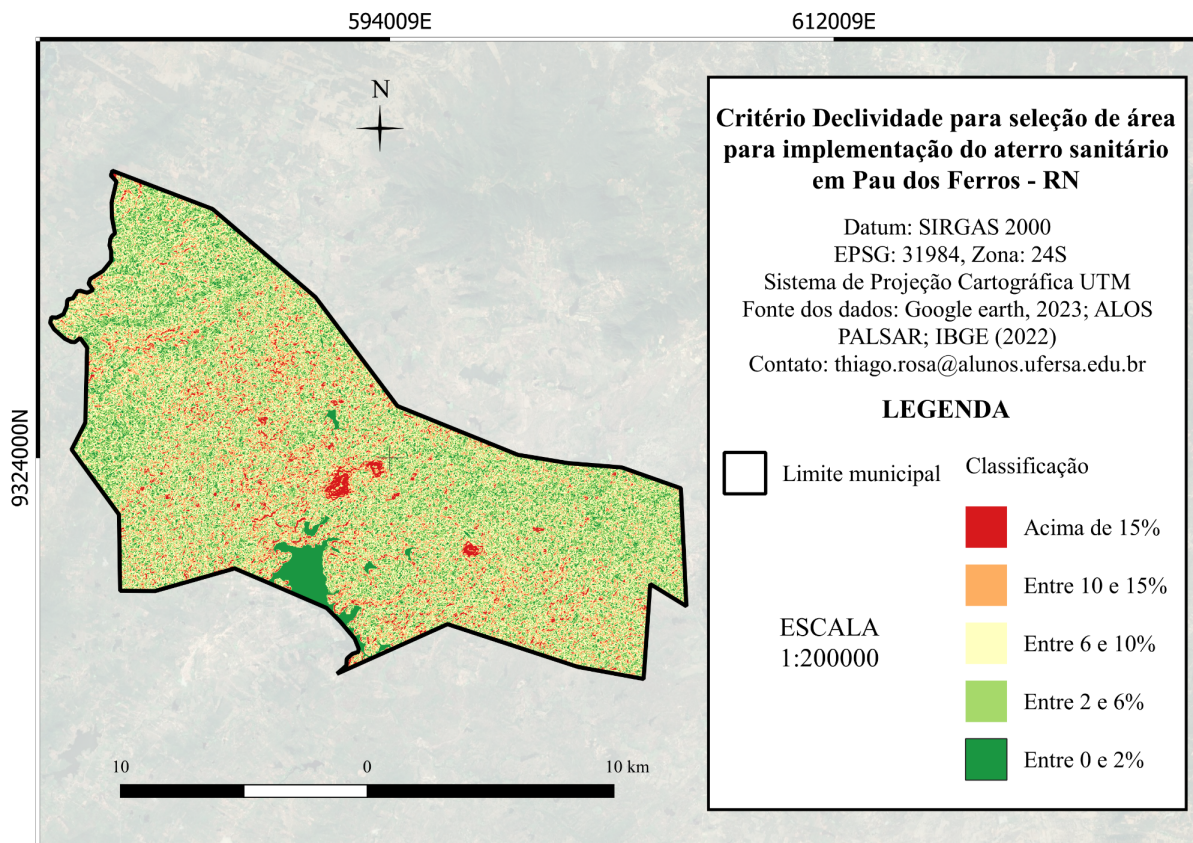


Fonte: Autor (2023)

Logo, pode-se assegurar que com essa possibilidade de distanciamento dos corpos hídricos superficiais entre 400 m e 1.200 m, não haja a contaminação deste recurso natural de grande importância devido os seus múltiplos usos, sem prejuízos à qualidade e garantindo a disponibilidade para as gerações futuras.

Já para o critério de declividade, estabeleceu-se que áreas com declividade acima de 15% não são atrativas do ponto de vista de eficiência econômica e de logística no momento de transportar os resíduos das áreas urbanas e rurais para o local do aterro sanitário, sendo necessário maior consumo de combustível e maior tempo de transporte. Somado a isso, a declividade também está associada ao escoamento superficial da água, bem como o chorume caso venha a ocorrer acidente com o sistema de captação deste efluente. Com isso, pode-se perceber que o município possui poucas áreas com a declividade desclassificatória e, grande quantidade de áreas com declividade variando entre 2 e 10%, como ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Critério Declividade



Fonte: Autor (2023)

Assim, com o município apresentando declividade variando entre 2% e 15%, pode-se realizar a implantação do aterro sanitário sem que haja prejuízo econômico, aumentando a eficiência da coleta, sem a necessidade de ter grande quantidade de veículos coletores para realizar as rotas, bem como gastos com combustível.

Por fim, realizou-se o processamento final por meio da calculadora *raster*, fazendo o somatório das camadas *raster* referente aos critérios e multiplicando pelos pesos determinados no Quadro 5 e, fazendo a multiplicação desse somatório com a camada *raster* das áreas proibidas, inserindo a informação “!=1” que se refere a valores diferentes de 1 (áreas proibidas) e ainda multiplicando pela camada *raster* de limite urbano, como a seguir:

$$[(P_1 * \text{Critério}_1) + (P_2 * \text{Critério}_2) + (P_3 * \text{Critério}_3) + (P_4 * \text{Critério}_4)] * (\text{raster áreas proibidas} \neq 1) * \text{raster limite urbano}$$

Onde,

P₁: 0,25

Critério₁: *raster* proximidade de estradas e rodovias reclassificado

P₂: 0,25

Critério₂: *raster* afastamento de centros urbanos (mancha urbana) reclassificado

P₃: 0,3

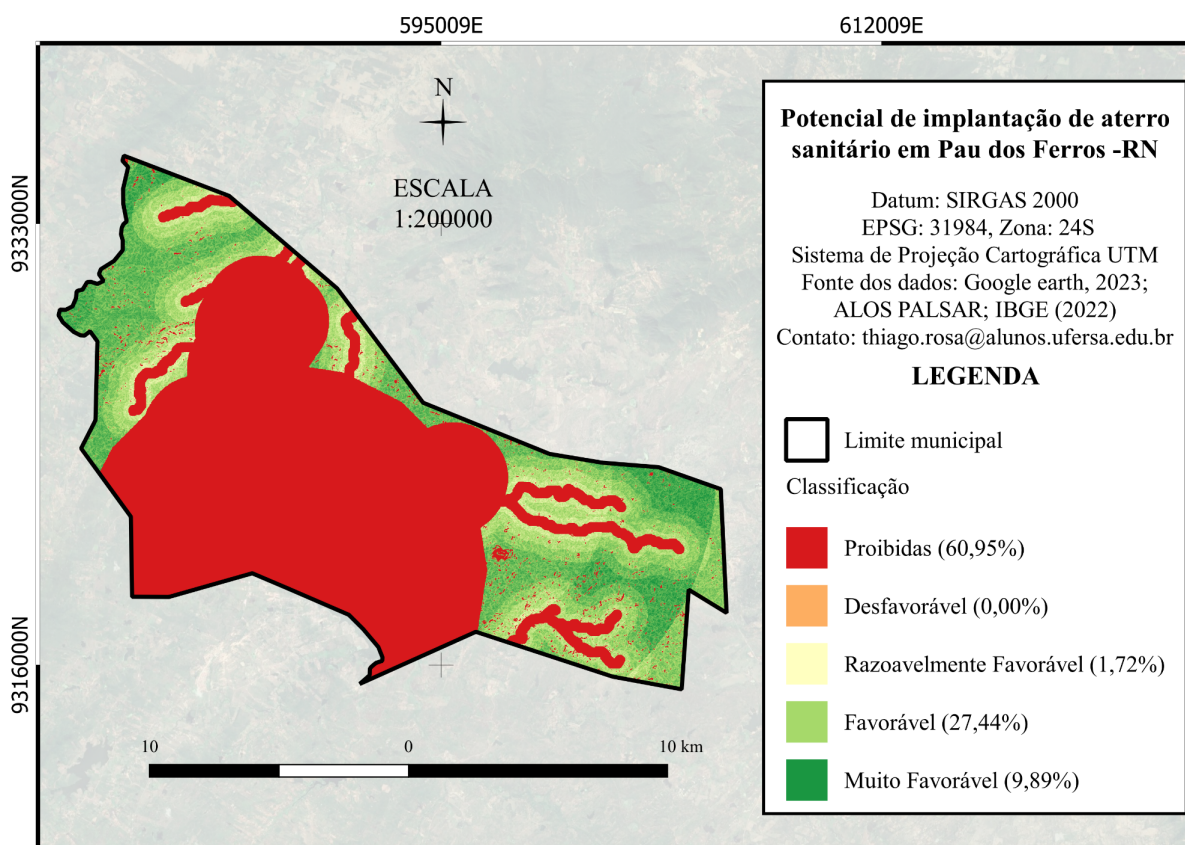
Critério₃: *raster* afastamento de corpos hídricos e ASA reclassificado

P₄: 0,2

Critério₄: *raster* declividade reclassificado

Por meio da análise sistêmica e integrada dos mapas temáticos expostos anteriormente abordando os critérios técnicos, gerou-se uma camada *raster* com informações de áreas em potencial para implementação do aterro sanitário, bem como áreas proibidas, como ilustrado na Figura 11. Portanto, pode-se perceber que o município inquirido possui apenas 39,05% (10.084,91 hectares) de seu território com potencial para implementação do aterro sanitário variando entre razoavelmente favorável (444,34 hectares), favorável (7.087,06 hectares) e muito favorável (2.553,52 hectares). E maior parcela do território (60,95%) sendo classificada como área proibida (15.741 hectares).

Figura 11 - Áreas potenciais de implementação do aterro sanitário



Fonte: Autor (2023)

Portanto, dentre os 259,96 km² do território do município, tem-se um total de 39,05% (100 km²) com possibilidade de implantação do aterro sanitário de forma segura, cumprindo com os critérios determinados pela legislação e normas vigente, a fim de garantir a segurança dos compartimentos ambientais e, a qualidade de vida e acesso aos recursos naturais pela população. Entretanto, esta atividade impacta diretamente e indiretamente a vizinhança, devido a quantidade de veículos transitando diariamente, a qualidade do ar devido a movimentação de veículos na estrada que gera material particulado e gases poluentes oriundos da queima do combustível fóssil, a possível atração de vetores de doenças e mau cheiro.

Somado a isso, o critério de área de segurança aeroportuária mostrou-se o mais restritivo no processo de seleção de área, pois em municípios que possuem aeroporto/aeródromo podem estar impedidos de implantar o aterro sanitário. Na sequência, a mancha urbana pode variar rapidamente, a depender da expansão da malha urbana e especulação imobiliária, devido o município ser considerado pólo da microrregião e sediar

diversas universidades, o que atrai jovens de diversos estados brasileiro, sendo os nove estados do Nordeste os mais representativos.

6. CONCLUSÃO

A implantação do aterro sanitário municipal em Pau dos Ferros - RN dimensionado, para a população futura de 15 anos (34.695 habitantes) está condicionado à disponibilidade de uma área útil de 9,20 hectares, visando atender aspectos que promovam a segurança e às normas técnicas brasileiras, bem como a legislação ambiental vigente. Desse modo, de acordo com a metodologia multicritério apresentada no trabalho, o município possui 39,05% (10.084,91 hectares) de seu território com possibilidade para a implementação, com classificação variando entre razoavelmente favorável, favorável e muito favorável. No entanto, a maior parcela do território (60,95%) municipal está classificada como proibida.

Por fim, quanto a aspectos futuros, tem-se a automação do processo multicritério para seleção de área, bem como a validação *in loco* dos resultados encontrados e para trabalhos futuros a inserção de mais critérios relevantes, como permeabilidade do solo, geologia e os tipos de solo existentes, uso e ocupação do solo, vegetação, custos e tempo de vida útil do aterro. Neste sentido, o critério mais restritivo é a área de segurança aeroportuária, que a depender do tipo de aeroporto/aeródromo existente, o município pode ser impedido de implantar um aterro sanitário.

REFERÊNCIAS

ABRELPE, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama Brasileiro**. 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 21 de janeiro de 2023.

ADRIANO, João Pedro Portela. **Pré-seleção de áreas para a implantação de um aterro sanitário no município de Açailândia-MA**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/5061>. Acesso em: 05 de maio de 2023.

ALVARES, Clayton Alcarde et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: http://143.107.18.37/material/mftandra2/ACA0225/Alvares_et_al_Koppen_climate_classBrazil_MeteoZei_2014.pdf. Acesso em: 06 de maio de 2023.

ARAÚJO, Elaine Cristina dos Santos et al. **A gestão de resíduos sólidos em época de pandemia do Covid-19**. 2020. Disponível em: <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/108515>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 11.174: Armazenamento de resíduos sólidos perigosos**. Rio de Janeiro, 1990.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13221: Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos sólidos - Classificação**. 3ª ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15.849: Aterro Sanitário de Pequeno Porte - Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento**. Rio de Janeiro, 2010.

BARROS, Regina Mambeli. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2012. 374 p.

BRASIL. Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005. **Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 abr. 2005. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11107.htm. Acesso em: 06 maio 2023.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 06 de maio de 2023.

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.** Brasília, DF, 25 maio 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 7 maio 2023.

BRASIL. Portaria Interministerial nº 274, de 12 de abril de 2019. **Estabelece critérios e procedimentos para a elaboração, implementação, monitoramento e avaliação de planos de ação emergencial para o controle de incidentes da poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 abr. 2019. Seção 1, p. 40.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Estabelece o novo marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, e a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm. Acesso em: 06 de maio de 2023.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Portaria nº 798/GC3, de 27 de julho de 2020. **Aprova o Plano Básico de Gerenciamento de Risco de Fauna nos aeródromos brasileiros. Regulamenta normas de segurança para as atividades aéreas no Brasil, com o objetivo de garantir a segurança de todos os envolvidos na aviação, desde os passageiros até os profissionais do setor.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 jul. 2020. Seção 1, p. 29.

BRASIL. Decreto nº 11.043, de 13 de abril de 2022. **Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 abr. 2022. Seção 1, p. 2.

BOIN, Marcos Norberto et al. **Identificação De Áreas Potencialmente Favoráveis Para A Destinação Ambientalmente Adequada De Resíduos Sólidos.** Caminhos de Geografia. Uberlândia - MG. v. 23, n. 85. 2022. p. 137–156. DOI: <http://doi.org/10.14393/RCG238557409>. Acesso em: 22 de janeiro de 2023.

CARIM, Marcelo de Jesus Veiga, et al. **Impactos da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo e água nos municípios de Macapá e Santana–Amapá.** Research, Society and Development. 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/28211>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2023.

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

CARVALHO, Diego Batista et al. **Benefícios Da Compostagem Como Reciclagem Dos Resíduos Orgânicos Adquiridos Na Coopere Na Cidade De Santarém–Pa.** Revista de Extensão da Integração Amazônica, v. 4, n. 1, p. 20-22, 2023. Acesso em: 04 de maio de 2023.

CARVALHO, Josué Costa. **Destinação Inadequada de Resíduos Sólidos em Bacabal: Lixão.** Epitaya E-books, v. 1, n. 7, p. 129-131, 2022. DOI: <https://doi.org/10.47879/ed.ep.2022465p129>. Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/431>. Acesso em: 21 de janeiro de 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 004, de 18 de setembro de 2008. **Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 set. 2008. Seção 1, p. 103-105.

COSTA, Talita Tássia da. **Proposta de economia circular na gestão de resíduos sólidos no município de Pau dos Ferros-RN.** 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/7529>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2023.

COSTA, Vanessa Cristina Bispo. **Análise da viabilidade econômica na implantação e operação de sistemas de aproveitamento energético em aterros sanitários da Região Metropolitana de Recife – PE.** 2020. 73 f. TCC (Curso de Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental) - Departamento Acadêmico de Ambiente, Saúde e Segurança, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife. Disponível em: <https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/handle/123456789/354>. Acesso em: 06 de maio de 2023.

DAMASIO, Wesley Misael Bezerra et al. **Problemas Ambientais Urbanos Da Disposição Inadequada De Resíduos Sólidos: O Caso De Mossoró–Rn.** Pensar Geografia, v. 6, n. 1, p. 51-66, 2022. Disponível em: <http://periodicos.apps.uern.br/index.php/PGEO/article/view/3727/3510>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2023.

DEUS, Rafael Mattos de. **Fatores críticos para o sucesso ambiental da gestão e gerenciamento dos resíduos domiciliares: avaliação por meio de indicadores de desempenho e de eficiência.** 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/191578>.

DUTRA, Débora Joana et al. **Seleção de área para construção de aterro sanitário no município de Esmeraldas, MG, a partir da utilização de ferramentas de geoprocessamento.** Revista Geografica Acadêmica, v. 13, n. 2, p. 106-118, 2019. Disponível em: <https://revista.ufrn.br/rga/article/view/5827/2748>. Acesso em: 05 de maio de 2023.

ESPINOZA, Diego de Freitas. **Fatores para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil em busca da eficiência econômica, social e ambiental.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.96.2022.tde-08022023-111350>.

FEITOSA, Anny Kariny et al. **Avaliação da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em um Município do Nordeste Brasileiro.** Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science, v. 9, n. 1, p. 293-315, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Anny-Feitosa/publication/339834452_Avaliacao_da_Gestao_de_Residuos_Solidos_Urbanos_em_um_Municipio_do_Nordeste_Brasileiro/links/5e6831b6299bf1744f72bb37/Avaliacao-da-Gestao-de-Residuos-Solidos-Urbanos-em-um-Municipio-do-Nordeste-Brasileiro.pdf. Acesso em: 06 de maio de 2023.

GALVÃO, Ana Cláudia de Andrade. **Índices de poluição do solo por metais pesados e riscos ecológicos e a saúde humana em lixão no semiárido.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/46094>. Acesso em: 21 de janeiro de 2023.

GUATTA, Aurora de Oliveira. **Estimativa do potencial de geração de energia elétrica dos resíduos encaminhados ao aterro sanitário do município de Maringá-PR por meio da tecnologia waste-to-energy.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade

Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em:
<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/27732>.

IBAM/MIN. DAS CIDADES – Escola Nacional de Serviços Urbanos; Ministério das Cidades e PMSS – Secretária Nacional de Saneamento Ambiental. **Biogás em aterros e os créditos de carbono**. S/d.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama de Pau dos Ferros/RN**. 2019. Disponível em:
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/pau-dos-ferros/panorama>. Acesso em: 31 de janeiro de 2023.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E DO MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE. **Perfil do seu município. Natal-RN**. 2003. Disponível em:
www.idema.rn.gov.br. Acesso em: 31 de janeiro de 2023.

JUCÁ, José Fernando Thomé. **Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil**. Congresso Brasileiro De Geotecnia Ambiental-REGEO. 2003. p. 2003. Disponível em:
https://www.researchgate.net/profile/Jose-Fernando-Juca/publication/260084353_Destinacao_Final_de_Residuos_Solidos_Urbanos_no_Brasil/links/543bc26b0cf2d6698be325cf/Destinacao-Final-de-Residuos-Solidos-Urbanos-no-Brasil.pdf. Acesso em: 01 de fevereiro de 2023.

JÚNIOR, Mário José Da Silva et al. **Panorama Da Coleta, Tratamento E Disposição Final Dos Resíduos Sólidos Urbanos Na Região Do Nordeste Brasileiro**. 2019. Disponível em:
<https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/IV-117.pdf>.

LIMA, Daniela de Freitas; SOUTO, Lucas Valente; FILHO, Boanerges de Freitas Barreto. **A seca e seus desdobramentos: reflexões a partir da realidade da Microrregião de Pau dos Ferros**. Journal of Urban Technology and Sustainability, v. 3, n. 1, p. 65-77, 2020. Disponível em:
<https://journaluts.emnuvens.com.br/journaluts/article/view/24>. Acesso em: 06 de maio de 2023.

LIRA, Vanessa Medeiros de. **Análise da eficácia da política nacional de resíduos sólidos quanto à disposição final ambientalmente adequada: um olhar para o estado do Rio Grande do Norte**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em:
<https://antigo.monografias.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12457>. Acesso em 06 de maio de 2023.

LOPES, Matheus Martins. **Aproveitamento energético em aterros sanitários: análise da viabilidade técnica e econômica para o uso do biogás e instalação de painéis fotovoltaicos**. 2017. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2017. Disponível em:
<http://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/862>. Acesso em 06 de maio de 2023.

LOPES, Renata Costa. **Uso de sig na análise para implantação de aterro sanitário no município de Uberlândia-MG**. 2022. Disponível em:
<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/36424>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2023.

MAIELLO, Antonella; BRITTO, Ana Lucia Nogueira de Paiva; VALLE, Tatiana Freitas. **Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Scielo Brasil. 2018. DOI:
<https://doi.org/10.1590/0034-7612155117>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rap/a/tn3MvKggXHXHfgxw7xZD9Xy/?lang=pt#>. Acesso em: 22 de janeiro de 2023.

MARCOS, Larissa Botelho Gomes et al. **Uso de geotecnologias na seleção de áreas propícias para implantação de aterro sanitário em Lavras-MG**. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 3, p. 2243-22452, 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n3-440. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/q44crsl2pfafbcflcn5wqes4se/access/wayback/https://brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/download/45864/pdf>. Acesso em: 22 de janeiro de 2023.

MATTOS, Júlio Cesar Pinho et al. **Implantação do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos de Boca do Acre-Am: desafios e oportunidades no sul do estado do Amazonas após a Lei Federal Nº 14.026/2020**. Open Science Research I, v. 1, n. 1, p. 2652-2661, 2022. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/220107484.pdf>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2023.

MEDEIROS, José Ludemario Da Silva et al. **Identificação De Áreas Favoráveis A Implantação De Aterros Sanitários Entre Municípios Do Sertão No Estado Da Paraíba, Brasil**. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica, p. 1240-1266. 2022. Disponível: <https://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/81177>. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.3.81177>. Acesso em: 31 de janeiro de 2023.

MELLO, André Chame Lins de. **Emissões Fugitivas De Gases De Efeito Estufa De Um Aterro Sanitário: Estudo De Caso Do Centro De Tratamento De Resíduos De Macaé**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Andr%C3%A9_Chame.pdf.

MENDONÇA, Ewerton Victor Pereira. **Análise do manejo de resíduos sólidos na cidade de Pau dos Ferros/RN**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/8523>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2023.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Comando da Aeronáutica. Portaria nº 798/GC3, de julho de 2020. **Estabelece diretrizes para a atividade de aviação no Comando da Aeronáutica**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 jul. 2020. Seção 1, p. 67.

NETO, Waldemar De Mathias; PEDREIRO, Marcelo Rodrigo De Matos. **O Ampliamento Territorial Do Aterro Sanitário De Meridiano-SP**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 8, n. 11, p. 2327-2339, 2022. Disponível em: <https://www.periodicorease.pro.br/rease/article/view/7825/3064>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2023.

NEVES, Shewlyn Jenyele Rodrigues et al. **Identificação da aptidão de áreas à instalação de aterro sanitário no município de Prainha-PA utilizando avaliação multicritério e geotecnologias**. 2022. Disponível em: <https://www.bdm.ufpa.br:8443/handle/prefix/3957>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2023.

NOBRE, Samilly Brito et al. **Levantamento dos resíduos sólidos gerados no município de Pau Dos Ferros, Rio Grande do Norte** Survey of solid waste generated in the

municipality of Pau Dos Ferros, Rio Grande do Norte. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 6, p. 54056-54075, 2021.

OLIVEIRA, Adriana Patrícia Prado de et al. **A importância da coleta seletiva para o desenvolvimento sustentável local: Resgate histórico em Olinda/PE.** Research, Society and Development, v. 11, n. 12, p. e485111234452-e485111234452, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/34452>.

OLIVEIRA, Andreia Azevedo Abrantes de et al. **Métodos Multicritérios Para Seleção De Áreas Destinadas a Aterros Sanitários.** Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica, v. 14, n. 1, p. 425-440. 2021. Disponível em: <http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/71086>. Acesso em: 05 de maio de 2023.

PEREIRA, Vanessa Rodrigues. **Oportunidades e barreiras para a compostagem em contexto municipal: estudo de caso em São José dos Campos-Brasil.** 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/243273>.

PIROLI, Edson Luís. **Introdução ao geoprocessamento.** Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos. 2010. p. 46 .

RÊGO, Alana Ticiane Alves do; DE SOUZA, Rafael Silva; **De Oliveira, Jionaldo Pereira. A Cidade Como Um Imã–Análise Espacial no Centro De Pau Dos Ferros/Rn.** Revista Geotemas, v. 10, n. 2, p. 48-65, 2020.

SANTOS, Gustavo Henrique Araújo dos, et al. **Metodologia de previsão de potência elétrica de grupos geradores para aproveitamento do metano gerado em aterro sanitário de região com sazonalidade.** 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/229252>.

SILVA, Bruno Mateus Santiago da. **SIG aplicado na pré-seleção de áreas adequadas à implantação de aterro sanitário na Região Imediata de Belém-Pará.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/2666>. Acesso em: 05 de maio de 2023.

SCARAFIZ, Guilherme. **Análise comparativa econômica entre plantas de incineração e gaseificação para o processamento de resíduos sólidos urbanos.** 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/37757>. Acesso em: 04 de maio de 2023.

SOARES, Daiane De Almeida Santos. **Análise E Percepção Ambiental Da Disposição Inadequada De Resíduos Sólidos Urbanos: O Caso De Areia Branca–Rn.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia. 2022. Disponível em: https://www.uern.br/controladepaginas/ppgeo-editais/arquivos/3646dissertaa%C2%A7a%C2%A3o_daiane_de_almeida_2112.pdf. Acesso em 06 de maio de 2023.

TORRES, Wamon Salomão Dantas. **Seleção de áreas para implantação de aterro sanitário no Município de São João do Rio do Peixe-PB, utilizando técnicas de geoprocessamento.** 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/1444>. Acesso em: 05 de maio de 2023.

VIEIRA, Giovanna Giulia de Padua et al. **Disposição ambientalmente adequada de resíduos sólidos urbanos e desenvolvimento humano e sustentável: novas evidências de efeitos na saúde em municípios brasileiros selecionados.** 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/37112>.

VIEIRA, Sthefany Bolina. **A Importância Da Gestão Responsável Dos Resíduos De Saúde.** 2023. Disponível: <http://repositorio.fevASF.edu.br/handle/FEVASF/81>. Acesso em: 31 de janeiro de 2023.

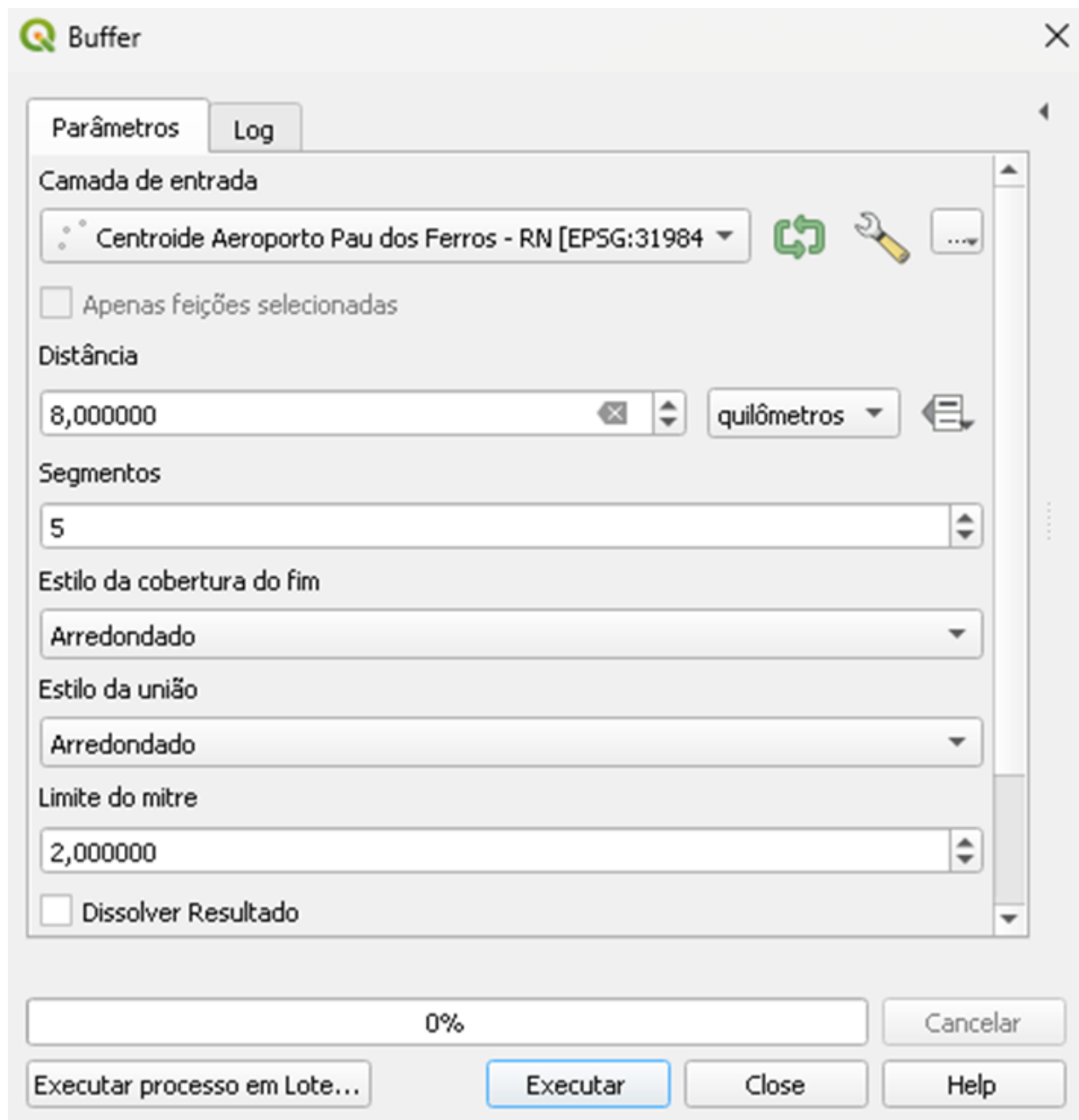
VILAÇA, Izabel Letícia Vieira Vilaça; COSTA, Franklin Roberto. **Caracterização Das Áreas De Alagamentos Na Cidade De Pau Dos Ferros–Rn.** Sociedade e Território, v. 34, n. 2, p. 83-101, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/27314>. Acesso em: 06 de maio de 2023.

ZUQUETTE, Lázaro Valentin. **Geotecnia ambiental.** 2015.

APÊNDICE

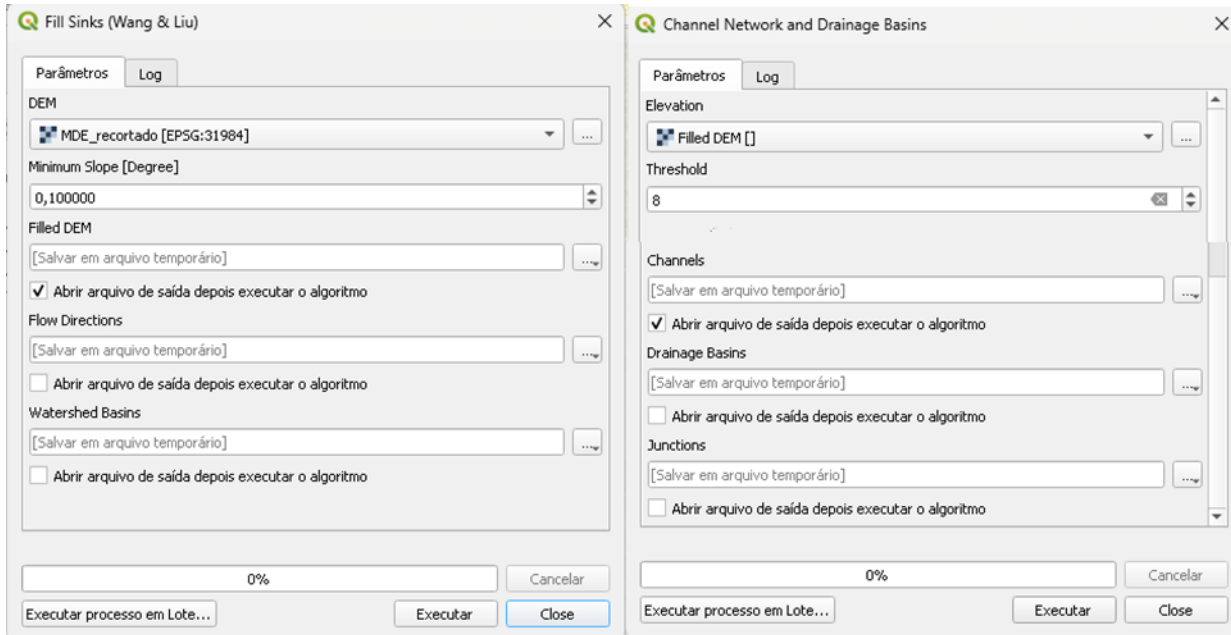
Etapas de processamento

Figura 12 - Buffer do centróide do aeródromo



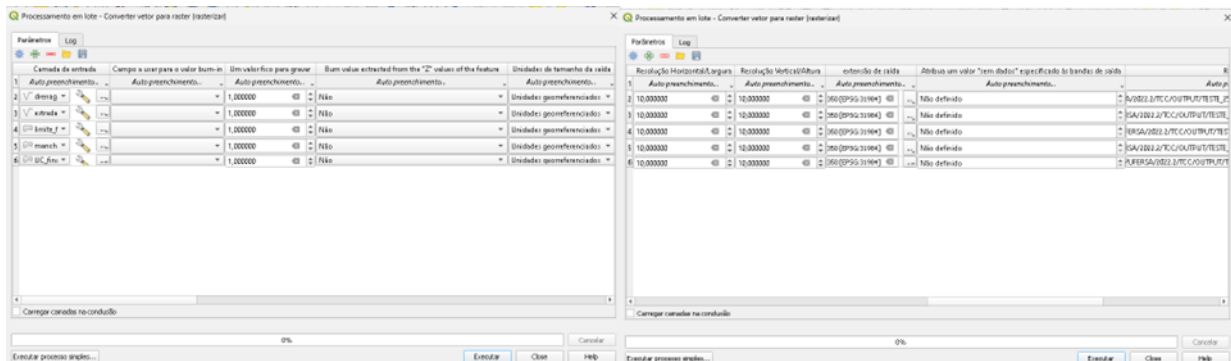
Fonte: Autor (2023)

Figura 13 - Ferramentas para extração da rede de drenagem



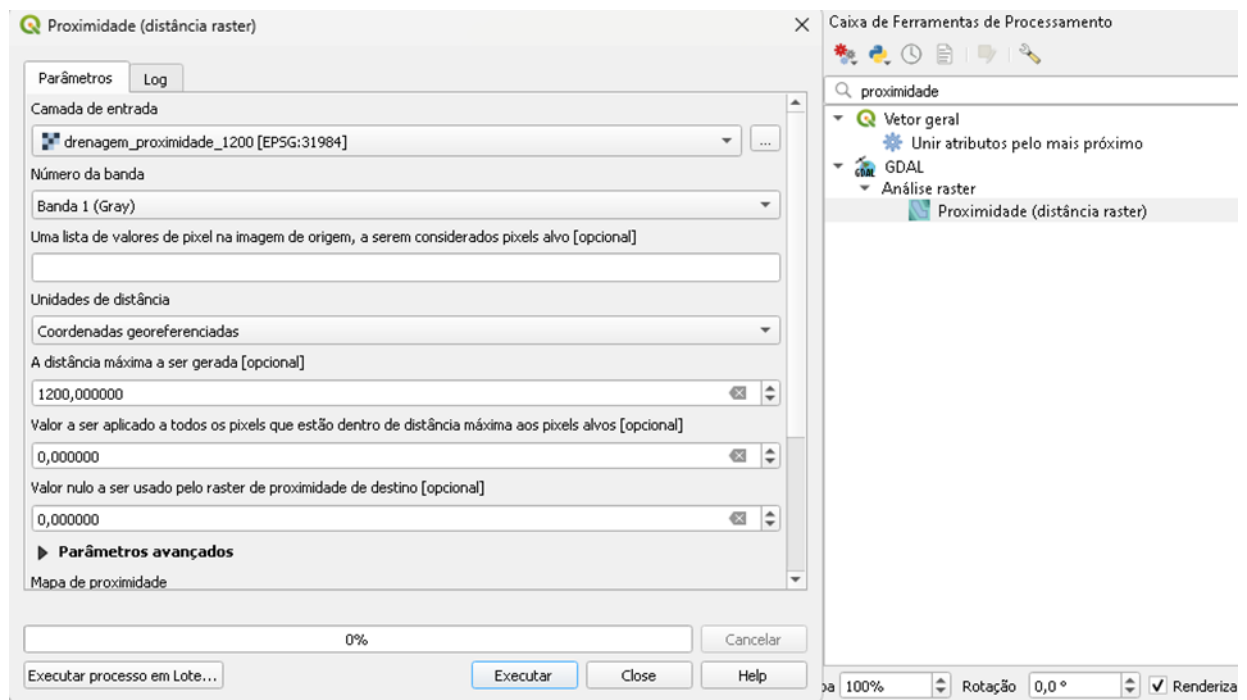
Fonte: Autor (2023)

Figura 14 - Conversão das camadas vetoriais para *raster*



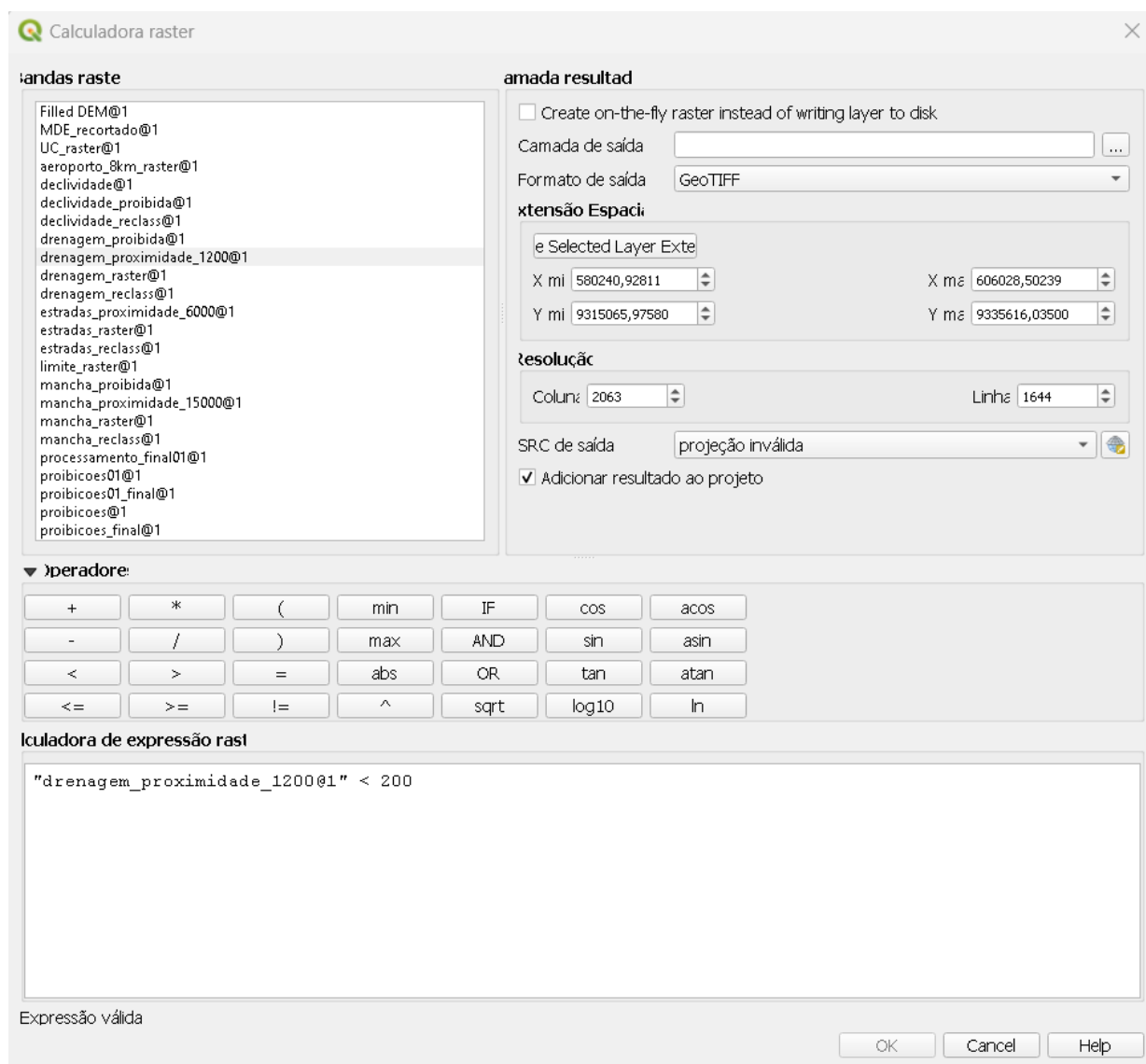
Fonte: Autor (2023)

Figura 15 - Proximidade das camadas *raster* critérios



Fonte: Autor (2023)

Figura 16 - Camada *raster* binária para as áreas proibidas



Fonte: Autor (2023)

Figura 17 - Camada proibições

Calculadora raster

Camadas raster

- Filled DEM@1
- MDE_recortado@1
- UC_raster@1
- aeroporto_8km_raster@1
- declividade@1
- declividade_proibida@1
- declividade_reclass@1
- drenagem_proibida@1
- drenagem_proximidade_1200@1
- drenagem_raster@1
- drenagem_reclass@1
- estradas_proximidade_6000@1
- estradas_raster@1
- estradas_reclass@1
- limite_raster@1
- mancha_proibida@1
- mancha_proximidade_15000@1
- mancha_raster@1
- mancha_reclass@1
- processamento_final01@1
- proibicoes01@1
- proibicoes01_final@1
- proibicoes@1
- proibicoes_final@1

Camada resultad

☐ Create on-the-fly raster instead of writing layer to disk

Camada de saída:

Formato de saída: GeoTIFF

Extensão Espaci

Selected Layer Ext

X mi: 580240,92811 X m: 606028,50239

Y mi: 9315065,97580 Y m: 9335616,03500

Resolução

Coluna: 2063 Linha: 1644

SRC de saída: projeção inválida

☒ Adicionar resultado ao projeto

Operadores

+	*	(	min	IF	cos	acos
-	/	)	max	AND	sin	asin
<	>	=	abs	OR	tan	atan
<=	>=	!=	^	sqrt	log10	ln

Calculadora de expressão raster

"aeroporto_8km_raster@1" + "declividade_proibida@1" + "drenagem_proibida@1" + "mancha_proibida@1" + "UC_raster@1"

Expressão válida

OK Cancel Help

Fonte: Autor (2023)

Figura 18 - Camada binária proibições

Camadas raster

- Filled DEM@1
- MDE_recortado@1
- UC_raster@1
- aeroporto_8km_raster@1
- declividade@1
- declividade_proibida@1
- declividade_reclass@1
- drenagem_proibida@1
- drenagem_proximidade_1200@1
- drenagem_raster@1
- drenagem_reclass@1
- estradas_proximidade_6000@1
- estradas_raster@1
- estradas_reclass@1
- limite_raster@1
- mancha_proibida@1
- mancha_proximidade_15000@1
- mancha_raster@1
- mancha_reclass@1
- processamento_final01@1
- proibicoes01@1
- proibicoes01_final@1
- proibicoes@1
- proibicoes_final@1

Operadores:

+	*	(	min	IF	cos	acos
-	/	)	max	AND	sin	asin
<	>	=	abs	OR	tan	atan
<=	>=	!=	^	sqrt	log10	ln

Cálculadora de expressão raster

"proibicoes@1" > 0

Expressão válida

Resultado final

☐ Create on-the-fly raster instead of writing layer to disk

Camada de saída: [] ...

Formato de saída: GeoTIFF

Extensão Espacial

[x] Selected Layer Extent

X mi: 580240,92811 X m: 606028,50239
Y mi: 9315065,97580 Y m: 9335616,03500

Resolução

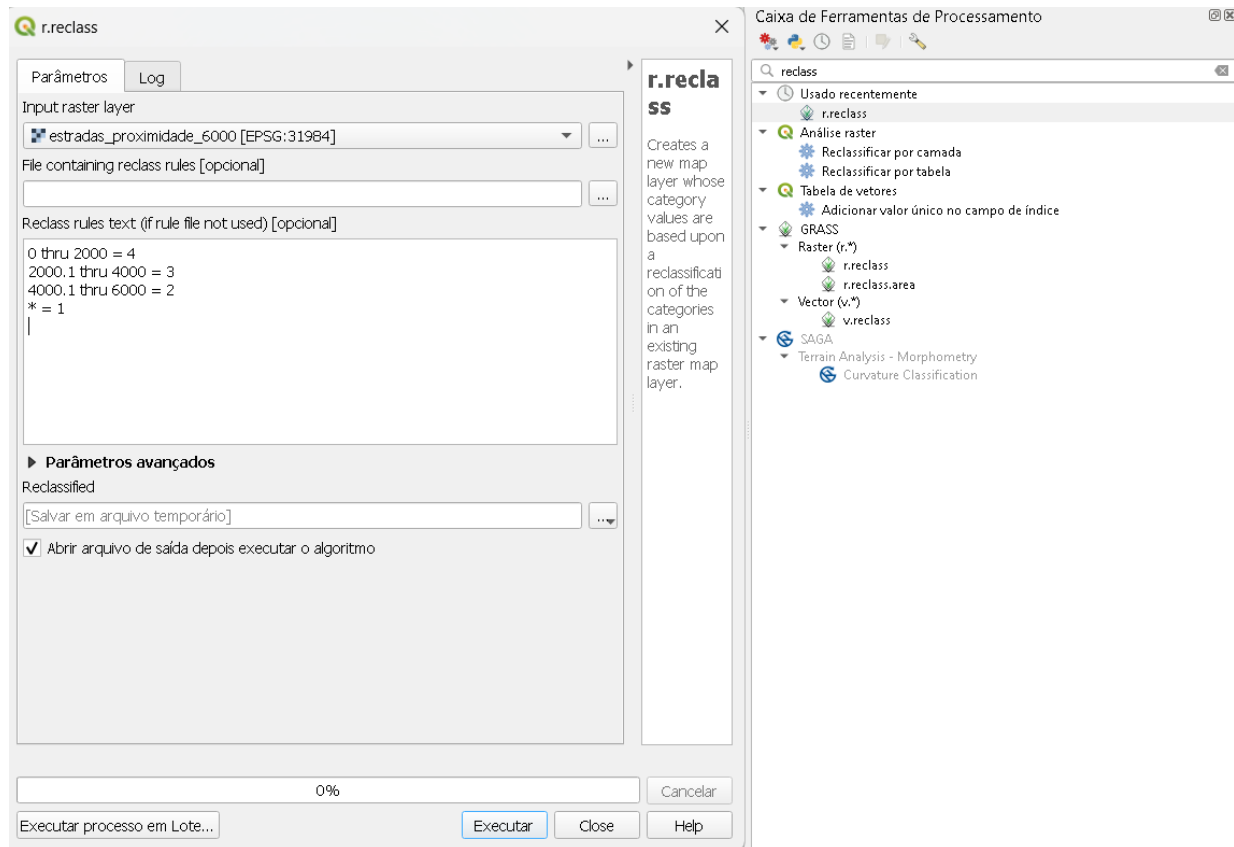
Coluna: 2063 Linha: 1644

SRC de saída: projeção inválida

☒ Adicionar resultado ao projeto

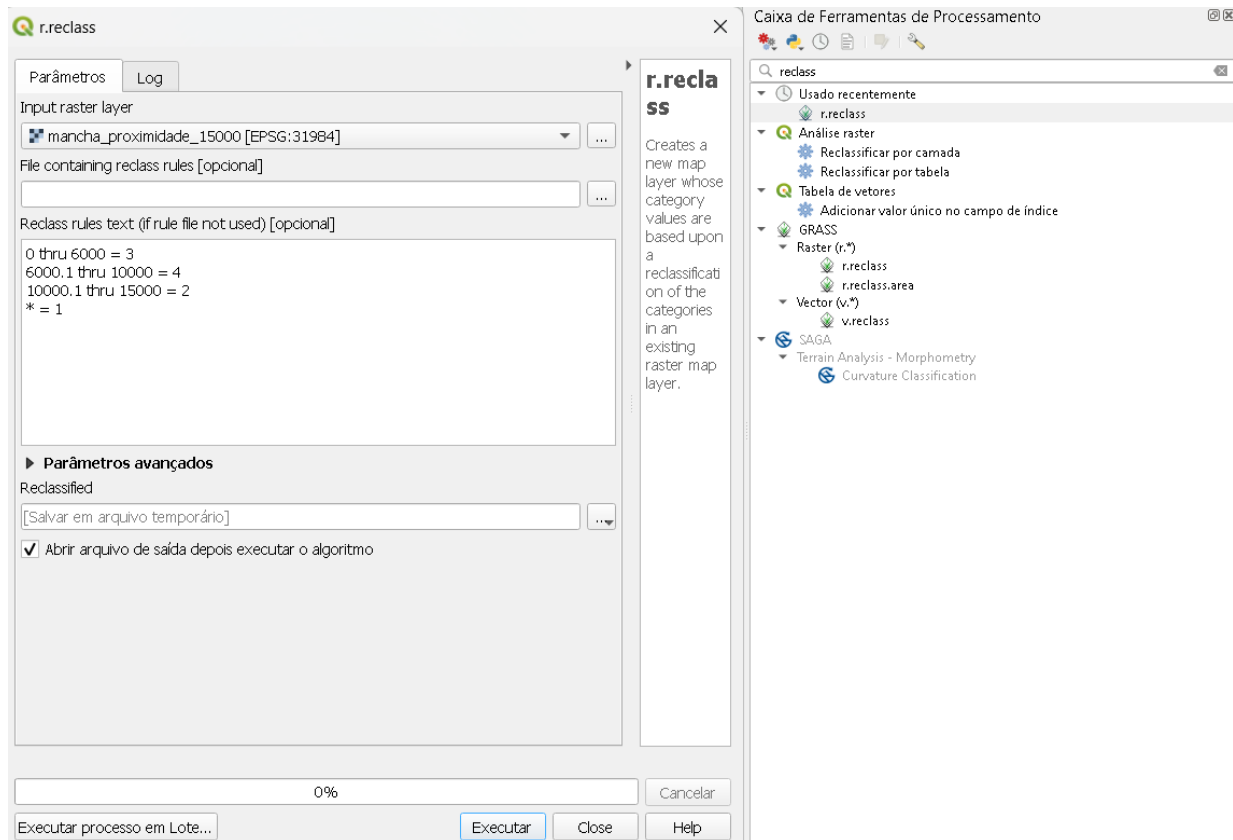
Fonte: Autor (2023)

Figura 19 - Reclassificação *raster* estradas proximidade



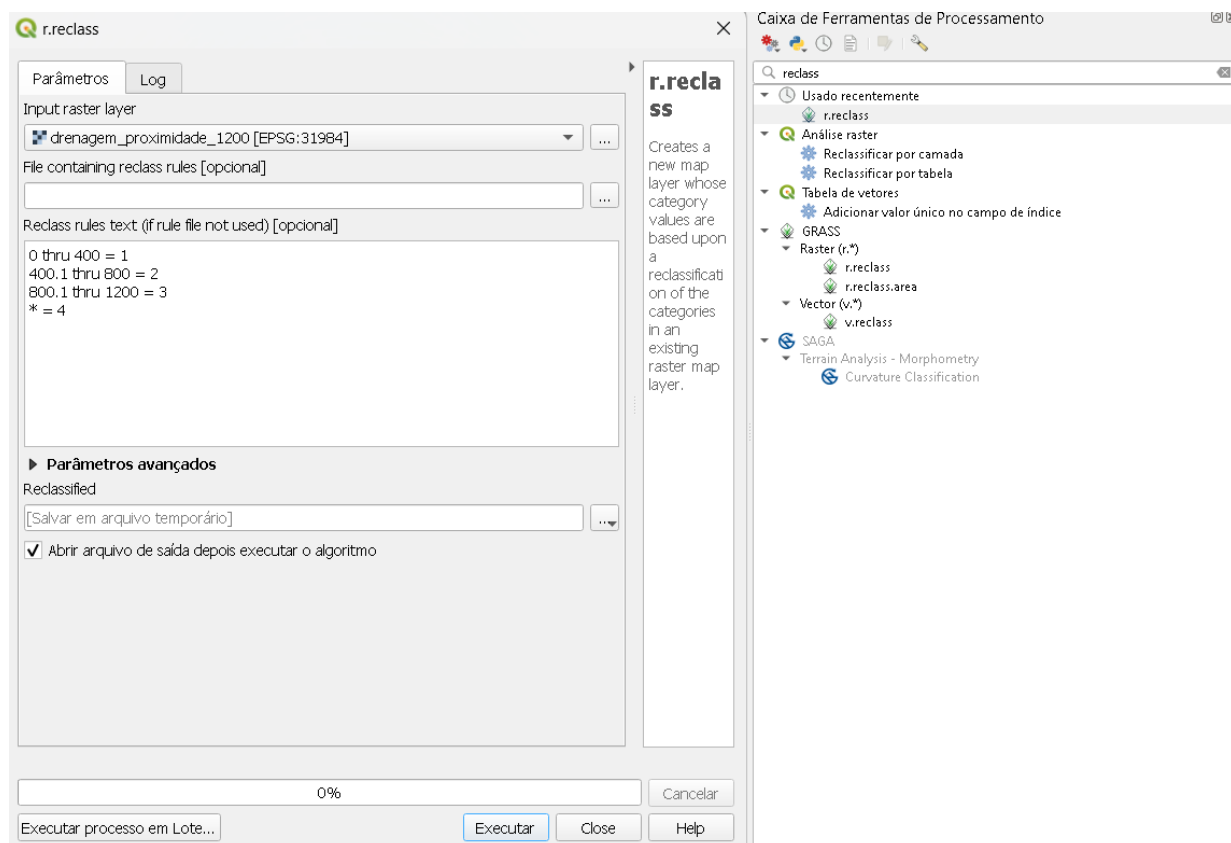
Fonte: Autor (2023)

Figura 20 - Reclassificação *raster* mancha urbana proximidade



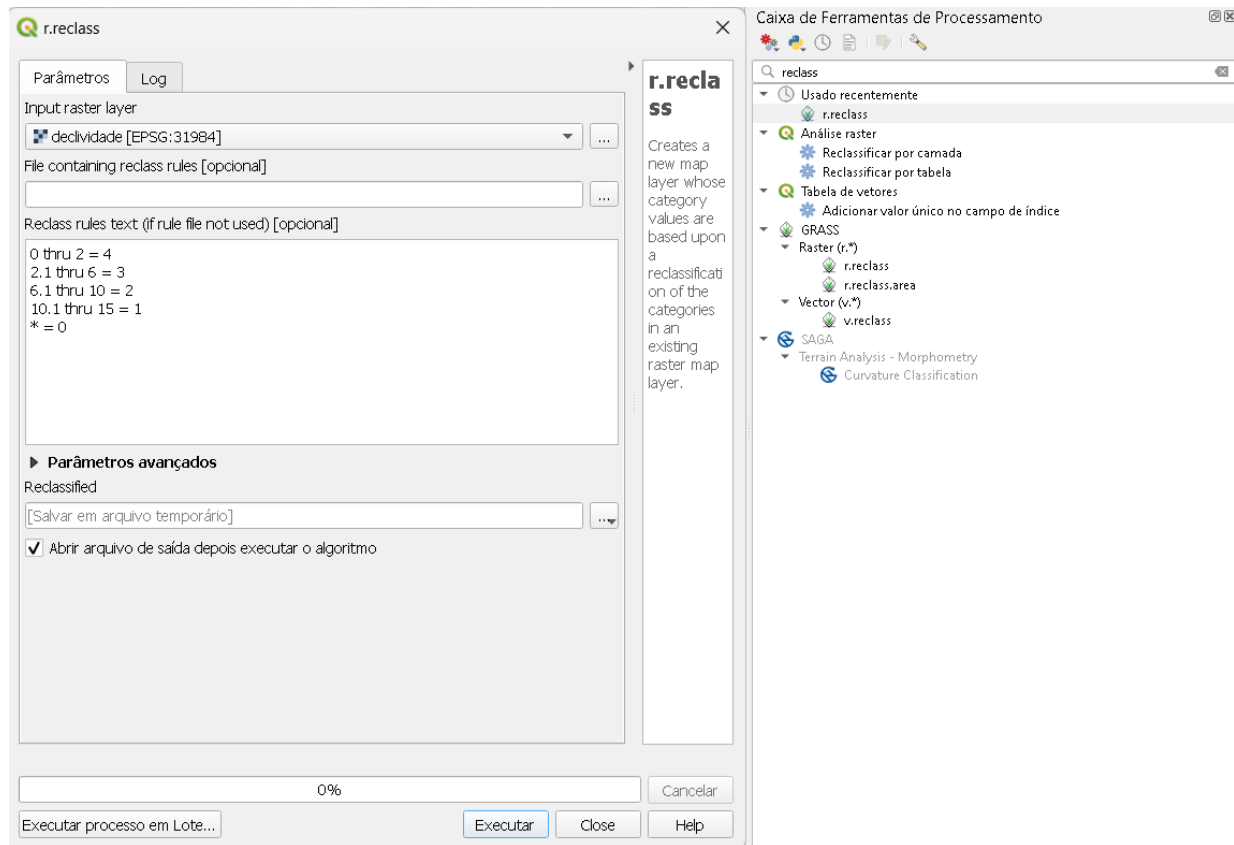
Fonte: Autor (2023)

Figura 21 - Reclassificação *raster* rede de drenagem proximidade



Fonte: Autor (2023)

Figura 22 - Reclassificação *raster* declividade



Fonte: Autor (2023)