



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
ENGENHARIA CIVIL

ÍTALO RODRIGUES DA COSTA

**IDENTIFICAÇÃO DE POTENCIAIS ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO
SANITÁRIO EM ICAPUÍ-CE**

MOSSORÓ-RN

2021

ÍTALO RODRIGUES DA COSTA

**IDENTIFICAÇÃO DE POTENCIAIS ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO
SANITÁRIO EM ICAPUÍ-CE**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profa. Dra. Daniela da Costa Leite Coelho,

MOSSORÓ-RN

2021

©Todos os direitos estão reservados à 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 tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

C837i Costa, Ítalo Rodrigues da.
IDENTIFICAÇÃO DE POTENCIAIS ÁREAS PARA
IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO EM ICAPUÍ-CE /
Ítalo Rodrigues da Costa. - 2021. 69 f.: il.

Orientadora: Daniela da Costa Leite Coelho.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Civil, 2021.

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Sistemas de
Informações Geográficas. 3. Tomada de decisão. I.
Coelho, Daniela da Costa Leite, orient. II.
Título.

ÍTALO RODRIGUES DA COSTA

**IDENTIFICAÇÃO DE POTENCIAIS ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO
SANITÁRIO EM ICAPUÍ-CE**

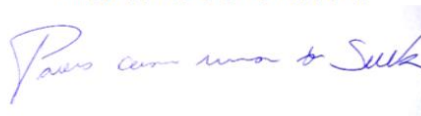
Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 18/05/2021

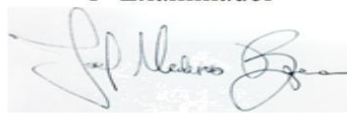
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. DANIELA DA COSTA LEITE COELHO – UFERSA/Mossoró-RN
Presidente e orientadora



Prof. Dr. PAULO CESAR MOURA DA SILVA – UFERSA/Mossoró-RN
1º Examinador



Prof. Dr. JOEL MEDEIROS BEZERRA – UFERSA/Pau dos Ferros-RN
2º Examinador

À Maria Aurineide Rodrigues da Costa (In Memoriam), pelo amor, carinho, ensinamentos e cuidados até o último instante da sua vida. Mesmo não estando entre nós, continua sendo minha maior força de vida. Sua lembrança me inspira e faz persistir.

*À Lyndon Jonson da Costa, como pai sempre me incentivando e motivando.
À Paulo Igor Rodrigues da Costa, como irmão, pela força, apoio e motivação.
Aos meus avós pelo amor e carinho.
À minha namorada Gabrielle Cristiane Monte Bezerra pelo incentivo e por sempre acreditar em mim.*

AGRADECIMENTOS

A Deus que é luz, guia e forneceu todos os meios para que esse momento fosse possível.

À minha mãe, Maria Aurineide Rodrigues da Costa (*in memoriam*), pelo amor dedicado e todo esforço que fez para me educar, me mostrando sempre o melhor caminho para que eu seguisse e me tornasse a pessoa que sou hoje.

Ao meu pai Lyndon Jonson da Costa e meu irmão Paulo Igor Rodrigues da Costa, pelo amor e incentivo.

À minha família pelo apoio, paciência e amor. A presença deles tornou a caminhada mais fácil.

À minha namorada Gabrielle Cristiane Monte Bezerra, pelo amor e paciência dedicados, por sempre me incentivar, apoiar, acreditar em mim, enfrentando juntos momentos importantes da minha vida, não deixando que eu desanimasse ou desistisse dos meus objetivos.

À minha orientadora, professora Dra. Daniela da Costa Leite Coelho pela paciência, amizade, disponibilidade, confiança e orientação na realização deste trabalho.

À Banca Examinadora pelo excelente profissionalismo, comprometimento e admiração quanto ao meu trabalho.

Aos meus amigos, que tornaram a caminhada mais divertida e não me deixaram desistir nunca.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a elaboração deste estudo.

Muito obrigado!

É uma disciplina que promove, com visão integrada, o gerenciamento e o compartilhamento de todo o ativo de informação possuído pela empresa. Esta informação pode estar em um banco de dados, documentos, procedimentos, bem como em pessoas, através de suas experiências e habilidades.

Gartner Group

RESUMO

A disposição inadequada de resíduos sólidos é um dos problemas enfrentados pela sociedade moderna. Uma alternativa técnica para esta disposição de forma ambientalmente adequada são os dispositivos dos aterros sanitários, os quais são locais destinados à decomposição final dos resíduos sólidos gerados pela atividade humana. Desta forma, o município de Icapuí, no estado do Ceará (CE) é um dos vários municípios brasileiros que necessitam da implantação de um aterro sanitário, tendo em vista a necessidade do atendimento a Lei nº 12.305 de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diante desse contexto, objetivou-se neste trabalho identificar potenciais áreas aptas para a implantação de um aterro sanitário no município de Icapuí-CE, por meio do emprego de técnicas de geoprocessamento, observando critérios ambientais, sociais e econômicos. Inicialmente, após análise dos critérios envolvidos, foi estimado o tamanho da área necessária a implantação do aterro, aproximadamente 4,8 hectares. Posteriormente, optou-se por três áreas de 5,0 hectares para serem avaliadas seguindo critérios preestabelecidos e com atribuição de nota. Quanto ao tratamento de dados espaciais utilizou-se o software livre e gratuito QGIS, versão 3.16. Com isso, após todas as análises dos dados e produtos espaciais obtidos, selecionou-se a Área 3 como possível área para implantação do aterro sanitário no município em estudo, a qual se sobressaiu sobre as demais áreas quanto aos critérios estabelecidos, dentre eles o critério ambiental.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos. Sistemas de Informações Geográficas. Tomada de decisão.

ABSTRACT

The inadequate disposal of solid waste is one of the problems faced by modern society. A technical alternative to this disposal in an environmentally appropriate way are the landfill devices, which are auxiliary sites for the final decomposition of solid waste generated by human activity. Thus, the municipality of Icapuí, in the state of Ceará (CE) is one of several Brazilian municipalities that have implemented a landfill in view of the need to comply with Law No. 12,305 of 2010, which institutes the National Waste Policy Solids. Given this context, the objective of this work was to identify potential areas suitable for the implementation of a landfill in the city of Icapuí-CE, through the use of geoprocessing techniques, observing environmental, social and economic criteria. Initially, after analyzing the defined criteria, it was estimated the size of the area required for the landfill, approximately 4.8 hectares. Subsequently, we opted for three areas of 5.0 hectares to be evaluated following the pre-established criteria and with an old note. Regarding the treatment of spatial data, free and free software QGIS, version 3.16, was used. With that, after all the analysis of the selected data and space products, Area 3 was selected as a possible area for the implementation of the landfill in the municipality under study, which stood out over the other areas regarding the criteria received, among them the criterion environmental.

Keywords: Geoprocessing. Solid waste. Decision making.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação da periculosidade dos resíduos sólidos de acordo com a NBR 10.004/04.....	18
Figura 2 – Quantidade de RSU coletados no Brasil na última década.	20
Figura 3 – Estrutura geral do SIG.....	30
Figura 4 – Princípio básico do funcionamento do Sensoriamento Remoto.	31
Figura 5 – Mapa de localização geográfica do Município de Icapuí, no estado brasileiro do Ceará (CE).	34
Figura 6 – Projeção geométrica de crescimento populacional do município de Icapuí-CE para os próximos 20 anos, de 2021 a 2040.....	43
Figura 7 – Localização geográfica da Área 1.	44
Figura 8 – Localização geográfica da Área 2.	45
Figura 9 – Localização geográfica da Área 3.	46
Figura 10 – Mapa temático dos cursos d'água do município de Icapuí-CE, com a área de amortecimento de 200m de entorno	47
Figura 11 – Mapa temático de rodovias do município de Icapuí-CE, a área de amortecimento de 100m de entorno	48
Figura 12 – Mapa temático da mancha urbana do município de Icapuí-CE, com a área de amortecimento de 500m de entorno	49
Figura 13 – Mapa temático dos tipos de solos do município de Icapuí-CE.	50
Figura 14 – Mapa temático do uso e ocupação do solo do município de Icapuí-CE.	51
Figura 15 – Mapa temático da declividade do município de Icapuí-CE.	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	–	Faixa de variação da geração per capita de RSU de acordo com o porte do município e a população.....	37
Quadro 2	–	Critério e restrições para seleção de áreas aptas para implantação de aterros sanitários.....	39
Quadro 3	–	Hierarquização, pesos e tipo de atendimento aos critérios selecionados....	40
Quadro 4	–	Tipos de shapefiles e fontes.....	41
Quadro 5	–	Avaliação ao atendimento das áreas previamente selecionadas para implementação do aterro sanitário no município de Icapuí-CE.....	54
Quadro 6	–	Quadro 6 – Ponderação para seleção das potenciais áreas para implantação de aterro sanitário em Icapuí-CE.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de RSU gerados no Brasil e em cada região do país.	19
Tabela 2 – Disposição final de RSU no Brasil, por tipo de destinação entre os anos 2010 e 2019.	20
Tabela 3 – População e geração de RSU no estado do Ceará.	21
Tabela 4 – Quantidade de RSU coletados e índice de cobertura de coleta no estado do Ceará, nos anos de 2010 e 2019.....	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
Bel	Bacharel
Dr	Doutor
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
Me	Mestre
NBR	Norma Técnica Brasileira
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional e Vigilância Sanitária
SR	Sensoriamento Remoto
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1	RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL	16
3.1.1	Classificação dos Resíduos Sólidos.....	17
3.1.2	Produção Nacional e Local de Resíduos Sólidos Urbanos	19
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS RSU E SUAS CONSEQUÊNCIAS NO BRASIL	22
3.3	ASPECTOS TÉCNICOS E LEGAIS ENVOLVENDO OS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	23
3.4	TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MEIO AMBIENTE	24
3.5	APLICAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO	26
3.5.1	Sistemas de Informações Geográficas – SIGs	29
3.5.2	Sensoriamento Remoto – SR	31
3.5.3	Sistema de Posicionamento Global – GPS.....	32
3.5.4	Softwares Livres	32
4	MATERIAL E MÉTODOS	34
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	34
4.2	CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE ÁREAS APTAS A IMPLANTAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO.....	35
4.2.1	Projeção populacional	35
4.2.2	Geração <i>per capita</i> e massa de resíduos sólidos urbanos	36
4.2.3	Volume dos RSU e a área do aterro sanitário	37
4.2.4	Critérios para seleção de áreas aptas para implantação de aterros sanitários	38
4.2.5	Aplicação do geoprocessamento	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1	ESTIMATIVA DO TAMANHO DA ÁREA PARA IMPLANTAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO.....	42
5.2	ESTUDO DAS POTENCIAIS ÁREAS APTAS PARA IMPLANTAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO.....	44
5.2.1	Localização das áreas previamente selecionadas e estudadas	44
5.2.2	Critérios para seleção da área mais apta para implantação do aterro sanitário.....	46

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as temáticas acerca dos resíduos sólidos vêm sendo discutidas em todo o mundo, especialmente no que diz respeito à sua disposição final. Esse tema tem se tornado uma questão bastante desafiadora para a sociedade moderna, tendo em vista o aumento considerável na sua geração, bem como em virtude das diferentes características destes resíduos.

Nos primórdios, quando a geração dos resíduos era pouco significativa, a natureza sempre supria as necessidades de capacidade de suporte da carga poluidora. Porém, a partir da Revolução Industrial a quantidade na sua geração foi se alterando, bem como suas características químicas, físicas e biológicas. Devido ao constante crescimento populacional e incentivo ao consumo, a geração desses detritos se intensificou ainda mais. O problema é que a capacidade de degradação pela natureza permaneceu a mesma (ALBERTIN et al., 2010).

No Brasil, Bortolatto e Ahlert (2012) relatam que os municípios não estão preparados e projetados para um crescimento populacional acelerado, tendo em vista que acarretará uma geração em massa de resíduos sólidos, os quais são considerados agentes causadores de sérios problemas ambientais, e consequentemente o seu gerenciamento adequado.

Visando promover a gestão dos resíduos sólidos no Brasil, foi criada a Lei nº 12.305, em 02 de agosto de 2010, na qual institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010a). Posteriormente, a referida Lei foi regulamentada, em 23 de dezembro do mesmo ano, pelo Decreto nº 7.404 (BRASIL, 2010b). Estes dois dispositivos legais institucionalizaram os princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão dos resíduos sólidos no país, sejam estes orgânicos e inorgânicos, urbanos e rurais, comerciais e industriais, de construção civil, de saúde, transportes, mineração, limpeza urbana, saneamento básico, resíduos perigosos, dentre outros (ANTUNES, 2011).

Na sociedade moderna, os resíduos sólidos e semissólidos despertam grande preocupação ambiental. Quando se apresentam em grandes quantidades, e que, ao serem depositados no meio ambiente, sem tratamento e disposição adequada, causam sérios problemas, tais como a geração de odores; poluição visual, do solo, hídrica e atmosférica; e a proliferação de vetores (insetos e roedores) responsáveis pela transmissão de doenças ao ser humano (BELLI, 2005).

Entre as medidas adotadas para a disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), os aterros sanitários são os mais adequados ambientalmente, conforme a PNRS. Esse método baseia-se em conhecimentos de engenharia e segue normas pré-estabelecidas (FÉRIS; TARTARI, 2005), como por exemplo, pode-se citar a Norma Brasileira (NBR) 8.419 da

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (ABNT, 2004a), que trata da apresentação de projetos de aterros sanitários de RSU (BRAGA et al., 2005).

Segundo Russo (2003), o equacionamento dos resíduos sólidos poderia ser simples, com a redução da utilização da matéria prima por um lado e, por outro, o aumento da taxa de recuperação/reciclagem de produtos dos resíduos. No entanto, tais medidas seriam dificilmente aplicadas na sociedade de forma imediata. Deste modo, a sociedade moderna tem que procurar novas formas de gerir os resíduos que produz, bem como terá que procurar por locais para dispô-los corretamente, principalmente do ponto de vista ambiental.

Atualmente, inúmeras são as tecnologias que auxiliam no processo de seleção de áreas aptas à implantação de aterros sanitários, dentre elas pode-se destacar o geoprocessamento (NUNES, 2007). A utilização do geoprocessamento, bem como das ferramentas gratuitas e livres, como o QGIS, influencia na redução do custo do projeto em virtude do baixo custo operacional e a otimização da análise sistêmica. Tais tecnologias são utilizadas em diversas áreas do conhecimento, dentre elas projetos de engenharia e ambientais.

Localizado na região litorânea do Estado do Ceará, o município de Icapuí conta com áreas sensíveis as ações humanas, como falésias, manguezais entre outros, as quais são Áreas de Proteção Permanente (APP). A depósito inadequado de resíduos sólidos no município pode trazer sérios problemas para as APP's, que geralmente os problemas são irreversíveis. Atualmente o município de Icapuí conta com um “lixão”, o qual é uma destinação final inadequada e necessita urgentemente da construção de um aterro sanitário para garantir que os resíduos sólidos jamais entre em contato com as áreas sensíveis do município.

Diante do cenário de disposição final irregular dos resíduos sólidos gerados no município de Icapuí aos “lixões”, o presente estudo é de suma importância no contexto da gestão municipal e se justifica pela necessidade de implantação, por meio da identificação de um local adequado para disposição final de seus resíduos sólidos no município, conforme a Lei nº 12.305/2010.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Objetivou-se neste trabalho, identificar potenciais áreas com aptidão para a instalação de um aterro sanitário no município de Icapuí, estado brasileiro do Ceará (CE), a partir do uso de técnicas e ferramentas de geoprocessamento, utilizando o software livre e gratuito, e observando critérios ambientais, sociais e econômicos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a projeção populacional e de geração de RSU para o município de Icapuí-CE para uma perspectiva de 20 anos;
- Dimensionar a área necessária para implantação do aterro sanitário;
- Estabelecer critérios de seleção e definir prioridades para o atendimento aos critérios estabelecidos para implantação de um aterro sanitário para tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos;
- Realizar uma seleção preliminar de potenciais áreas de implantação do aterro sanitário no município;
- Espacializar os parâmetros correlacionados aos critérios técnicos e legais para implantação de um aterro sanitário;
- Analisar as áreas com potenciais para instalação do aterro sanitário a partir dos critérios estabelecidos; e
- Identificar a área mais propícia para implantação do aterro sanitário.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL

De acordo com a NBR 10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004b, p. 1), que dispõe sobre resíduos sólidos, estes são definidos como:

Resíduos encontrados nos estados sólidos e semissólidos, os quais resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de serviços de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes dos sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpo de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004b, p. 1)

Portanto, segundo esta norma, os resíduos sólidos englobam materiais que se encontram em diferentes estados físicos, como o estado sólido, semissólido e, até mesmo, o líquido.

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), define os resíduos sólidos da seguinte forma:

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

Essa definição torna evidente a diversidade e complexidade que envolve a questão pertinente aos resíduos sólidos. De forma geral, os resíduos sólidos de origem urbana (RSU) compreendem aqueles produzidos pelas inúmeras atividades desenvolvidas em áreas com aglomerações humanas dos municípios, vinculados aos seus centros urbanos.

Normalmente, os resíduos de origem domiciliar e aqueles com características similares, como os comerciais e os resíduos da limpeza pública, são os considerados RSU, uma vez que são encaminhados para a disposição em aterros sanitários sob responsabilidade do poder municipal (FRÉSKA, 2007).

De acordo com Silva e Soares (2004) o gerenciamento de resíduos de origem não domiciliar, como é, por exemplo, o caso dos resíduos de serviço de saúde ou da construção civil, são igualmente de responsabilidade do gerador, estando sujeitos à legislação específica vigente.

3.1.1 Classificação dos Resíduos Sólidos

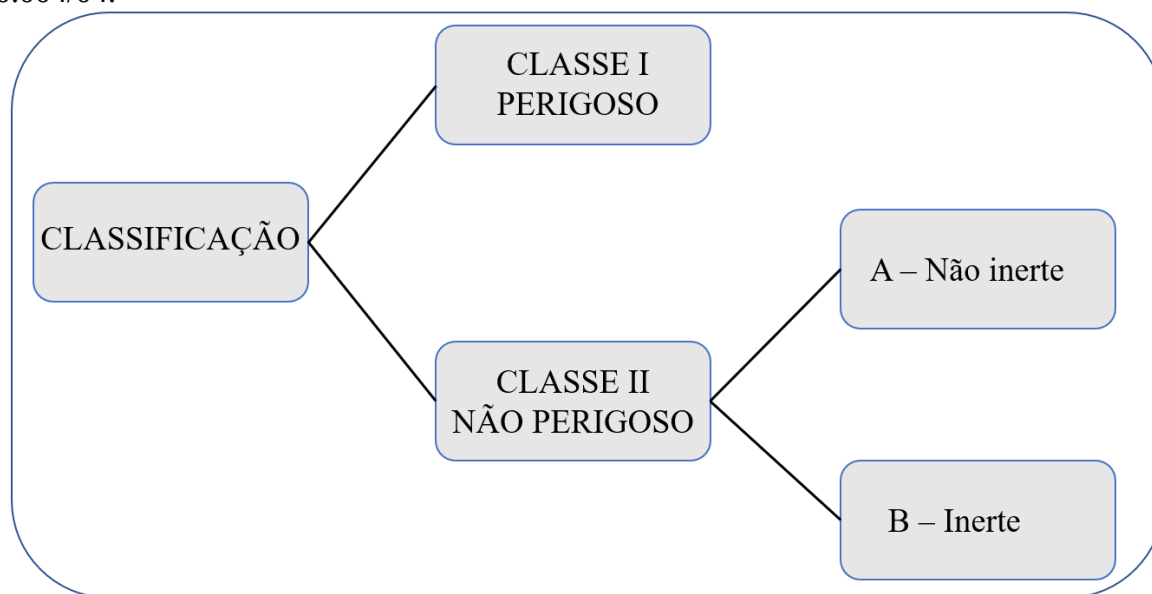
A caracterização dos resíduos sólidos é de extrema importância para determinar o seu tratamento adequado e sua disposição final, tomando como base critérios pré-estabelecidos pela legislação ambiental, onde os principais critérios de classificação são em relação à origem e à periculosidade.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010) quanto a sua origem, os resíduos sólidos podem ser classificados em:

- a) Resíduos domiciliares: são aqueles provenientes de atividades domésticas nas residências;
- b) Resíduos de limpeza urbana: provenientes da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas;
- c) Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço: resíduos provenientes das atividades domésticas, processos produtivos, atividades agropecuárias e silviculturais e os resíduos gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;
- d) Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: resíduos provenientes dos processos produtivos, gerados nos serviços de saúde, gerados nas construções, provenientes de atividades agropecuárias e silviculturais, resíduos originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteiras;
- e) Resíduos industriais: resíduos provenientes do processo produtivo e de instalações industriais;
- f) Resíduos de serviço de saúde: resíduos gerados nos serviços de saúde, conforme regulamentado pelo Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e pelo Sistema Nacional e Vigilância Sanitária (SNVS);
- g) Resíduos de construção civil: resíduos originados de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, além dos resíduos resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- h) Resíduos agrossilvopastoris: resíduos provenientes de atividades agropecuárias e silviculturais, bem como os resíduos advindos dos insumos utilizados nessas atividades;
- i) Resíduos de serviços de transporte: resíduos provenientes de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira; e
- j) Resíduos de mineração: resíduos gerados pela pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

No que diz respeito à classificação dos resíduos sólidos quanto a periculosidade que estes apresentam, a NBR 10.004 (ABNT, 2004b) os classifica de acordo com a Figura 1.

Figura 1 – Classificação da periculosidade dos resíduos sólidos de acordo com a NBR 10.004/04.



Fonte: Adaptado pelo autor (ABNT, 2004c).

a) Resíduos Classe I – Perigosos: aqueles que apresentam uma ou mais das características de toxicidade, patogenicidade, reatividade, corrosividade, inflamabilidade e que apresentam periculosidade em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas. Esse tipo de material pode apresentar risco à saúde pública, como por exemplo, o surgimento de doenças e o risco ao meio ambiente quando o gerenciamento desses resíduos não é realizado adequadamente.

b) Resíduos Classe II – Não Perigosos.

Resíduos Classe IIA – Não Perigosos e Não Inertes: são todos os resíduos que não se enquadram nas classificações de Resíduos Classe I (Perigosos) ou de Resíduos Classe IIB (Inertes). Os resíduos classe IIA – Não Inertes podem ter propriedades tais como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduos Classe IIB – Não Perigosos e Inertes: são resíduos que quando amostrados de forma representativa segundo a NBR 10.007/04 (ABNT, 2004d), e que quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme a NBR 10.006/04 (ABNT, 2004e), não apresentam nenhum de seus constituintes

solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, exceto aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme o Anexo G da NBR 10.004.

3.1.2 Produção Nacional e Local de Resíduos Sólidos Urbanos

O volume de resíduos sólidos tem tido um crescimento ao longo dos anos no Brasil, e parte desse aumento deve-se à redução dos índices inflacionários nos últimos anos, que elevou o poder aquisitivo da população, aumentando consequentemente o consumo, provocando assim uma maior geração de resíduos (LUCENA, 2004).

Diante desse aumento de produção, engrandece a preocupação dos órgãos relacionados ao saneamento básico e ambiental para elaborarem técnicas e alternativas necessárias para destinação e tratamento dos RSU de forma adequada, oferecendo o mínimo de impacto ao meio ambiente.

No Brasil, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020,) houve um aumento considerável na geração de RSU na última década, passando de aproximadamente 67 milhões para 79 milhões de toneladas por ano, configurando um aumento de cerca de 18%, ver Tabela 1.

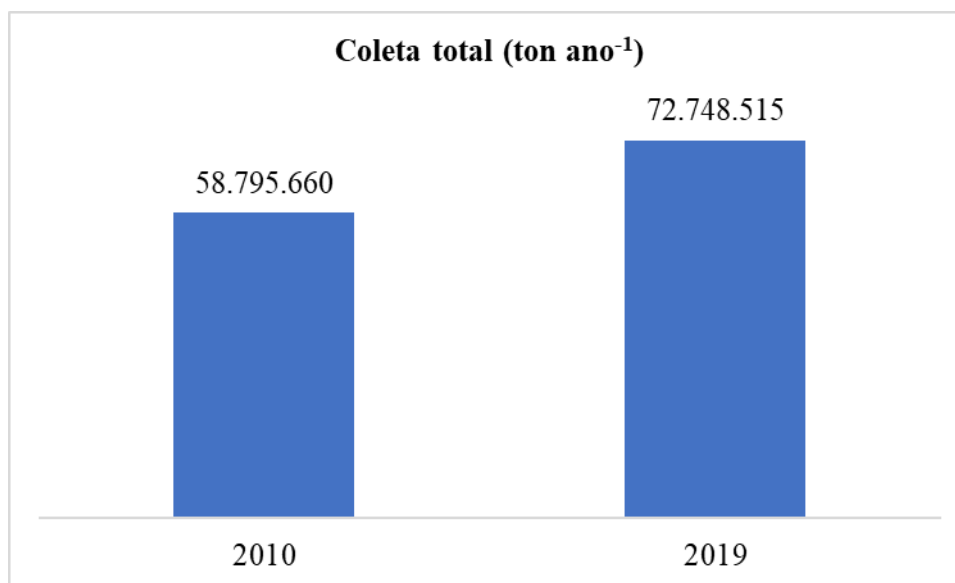
Tabela 1 – Quantidade de RSU gerados no Brasil e em cada região do país.

Unidade de análise	Resíduo gerado (ton ano ⁻¹)	
	2010	2019
Brasil	66.695.720	79.069.585
Região Norte	4.406.280	5.866.645
Região Nordeste	17.397.725	19.700.875
Região Sudeste	32.652.900	39.442.995
Região Sul	7.162.760	8.243.890
Região Centro-Oeste	5.076.055	5.815.180

Fonte: Adaptado pelo autor (ABRELPE, 2020).

De acordo com a ABRELPE (2020), entre os anos de 2010 e 2019, verifica-se que houve um aumento significativo da quantidade de RSU coletado no Brasil, por razão do incremento na margem de 14 milhões de toneladas de RSU por ano e pelo fato da ampliação do serviço de coleta de resíduos sólidos, ver Figura 2.

Figura 2 – Quantidade de RSU coletados no Brasil na última década.



Fonte: Adaptado pelo autor (ABRELPE, 2020).

Comparando-se os dados referente aos resíduos gerados (Tabela 1) com o total de RSU coletados (Figura 2), evidenciou-se que cerca de 6,3 milhões de toneladas de RSU deixaram de ser coletados no ano de 2019 e, provavelmente, tiveram destinação final irregular.

Na Tabela 2 constam os dados referentes às principais formas de destinação final de RSU no Brasil.

Tabela 2 – Disposição final de RSU no Brasil, por tipo de destinação entre os anos 2010 e 2019.

Ano	Disposição final de RSU no Brasil, por tipo de destinação (%)		
	Lixão	Aterro controlado	Aterro sanitário
2010	19,3	23,9	56,8
2019	17,5	23	59,5

Fonte: Adaptado pelo autor (ABRELPE, 2020).

De acordo com a pesquisa do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2020) e, considerando a Tabela 2, verifica-se que a destinação final dos resíduos sólidos nos aterros sanitários aumentou nos últimos anos, porém de forma pouco significativa (2,7%).

Na última década, houve uma pequena queda em relação a quantidade de lixões (1,8%), configurando assim que parte dos resíduos sólidos gerados no Brasil ainda têm seus destinos os lixões, o que se sugere a necessidade da promoção de soluções urgentes, já que essa forma de disposição final é reconhecidamente inadequada e poluidora.

Constam na Tabela 3, a população do estado brasileiro do Ceará (CE), onde observa-se que entre os anos de 2010 e 2019 houve um crescimento populacional de 8%.

Tabela 3 – População e geração de RSU no estado do Ceará.

Ano	População Total	RSU gerados (ton dia⁻¹)
2010	8.452.381	3.243.025
2019	9.132.078	3.534.660

Fonte: Adaptado pelo autor (IBGE, 2021).

Ainda na Tabela 3 é possível verificar a quantidade de resíduos sólidos gerados no estado do Ceará, e que, na última década, houve um crescimento de 9% na geração desses resíduos, superando o crescimento populacional, que foi de 8% no mesmo período, como mencionado anteriormente.

Na Tabela 4 verifica-se a quantidade de RSU coletados e o índice de cobertura da coleta no estado do Ceará, onde observa-se que houve um aumento na coleta de RSU, bem como um aumento no índice de cobertura da coleta, porém pouco significativo.

Tabela 4 – Quantidade de RSU coletados e índice de cobertura de coleta no estado do Ceará, nos anos de 2010 e 2019.

Coleta de RSU e índice de cobertura no estado do Ceará			
2010		2019	
Coleta Total (ton ano ⁻¹)	Índice de cobertura da coleta (%)	Coleta Total (ton ano ⁻¹)	Índice de cobertura da coleta (%)
2.476.890	76,4	2.830.210	80,1

Fonte: Adaptado pelo autor (ABRELPE, 2020).

De acordo com as Tabelas 3 e 4 nota-se que cerca de 700 mil toneladas de RSU não foram coletados no ano de 2019, mostrando assim que existe uma deficiência no gerenciamento de RSU nos municípios cearenses, bem como no manejo voltado para coleta e posteriormente a disposição final, acarretando a disposição de resíduos sólidos no meio ambiente de forma inadequada. Com isso, necessita melhorar o gerenciamento dos resíduos sólidos, bem como a construção de aterros sanitários para assegurá-los quanto a sua destinação final adequada.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RSU E SUAS CONSEQUÊNCIAS NO BRASIL

O poder aquisitivo da população impacta tanto na qualidade quanto nas características dos RSU que são gerados. Constata-se que existe uma relação direta entre a renda per capita e a produção de massa de resíduos, além da influência das atividades econômicas desenvolvidas e dos aspectos culturais da população (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009).

De acordo com Celere et al. (2007), esses resíduos sólidos são constituídos de uma mistura muito complexa e de natureza diversa, cujos principais constituintes são: material orgânico, papel, vidro, plástico e metais.

Dessa forma, sendo necessário a realização de análises que norteiem sua tipologia e caracterização quantitativa e qualitativa. As análises dos resíduos sólidos incluem as características físicas (geração per capita, composição gravimétrica, peso específico aparente, teor de umidade e compressibilidade), características químicas (poder calorífico, potencial hidrogeniônico – pH, composição química e relação carbono/nitrogênio – C:N), e características biológicas determinadas pela população microbiana e agentes patogênicos (MONTEIRO et al., 2001).

Com a intensificação do processo industrial, aliada ao crescimento da população e à demanda por bens de consumo, a geração de resíduos sólidos tem aumentado a cada ano. A gestão inadequada dos resíduos sólidos urbanos traz sérios impactos ambientais e, devido a isso, despertam grande preocupação na sociedade moderna e consumista.

Segundo Monteiro et al. (2001), o problema da disposição final assume uma magnitude alarmante, já que considerando apenas os resíduos urbanos e públicos, o que se percebe é uma ação generalizada das administrações públicas locais, ao longo dos anos, em apenas afastar das zonas urbanas o lixo coletado, depositando-o por vezes em locais absolutamente inadequados, como encostas florestadas, manguezais, rios, baías e vales.

Em se tratando de impactos ambientais negativos causados pelos RSU, os mesmos quando lançados em qualquer lugar, ou inadequadamente tratados ou dispostos, são uma fonte dificilmente igualável de proliferação de insetos e roedores, com os consequentes riscos para a saúde pública, além de causar também incômodos estéticos e de odor (BRAGA et al., 2005), desencadeando a tríplice poluição, afetando o solo, a água e atmosfera.

Neste sentido, considerando que muitos municípios brasileiros não possuem destinação adequada para os RSU, torna-se necessária a adoção de políticas de gerenciamento dos RSU nos municípios, proporcionando com isso, um adequado tratamento e destinação final de acordo com a sua classificação, minimizando com esses tipos de medidas, a ocorrência de impactos negativos tanto ao meio ambiente como ao próprio ser humano.

3.3 ASPECTOS TÉCNICOS E LEGAIS ENVOLVENDO OS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Com relação à Política Nacional de Resíduos Sólidos, a lei correspondente foi validada dia 2 de agosto de 2010, Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), essa altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

De acordo com o Art. 4º da referida lei, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Já de acordo com o Art. 9º da mesma lei, na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

Entre as normas brasileiras que tratam dos resíduos sólidos, as mais importantes são:

- NBR 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação. Esta Norma classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúdes pública, para que sejam gerenciados adequadamente. Está vinculada à NBR 10.005 – Lixiviação de resíduos, à NBR 10.006 – Solubilização de resíduos, e a NBR 10.007 – Amostra de resíduos (ABNT, 2004b);
- NBR 10.005 – Lixiviação de resíduos – Procedimento. Esta Norma fixa os requisitos exigíveis para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classificados como perigosos e não perigosos (inerte e não inerte) (ABNT, 2004e);
- NBR 10.006 – Solubilização de resíduos – Procedimento. Esta Norma fixa os requisitos exigíveis para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classificados como inertes e não inertes (ABNT, 2004d);
- NBR 10.007 – Amostra de resíduos – Procedimento. Esta Norma tem por objetivo fixar as condições exigíveis para amostragem, preservação e estocagem de amostras de resíduos sólidos. Estabelece, também, procedimentos específicos para coleta de amostras representativas em tambores, caminhões-tanque, receptáculos contendo pó ou resíduos granulados, lagoas de resíduos, leitos de secagem, lagoas de evaporação secas,

lagoas secas e solos contaminados, montes ou pilhas de resíduos e tanques de estocagem. Em todos esses tipos de acondicionamento de resíduos, o coletor deve possuir equipamentos de proteção individuais adequados (ABNT, 2004c).

No que diz respeito às formas de armazenamento, transporte e disposição dos resíduos sólidos, as seguintes normas e resoluções devem ser levadas em consideração:

- NBR 8.419 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Esta Norma fixa as condições mínimas exigidas para a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (ABNT, 2004a);
- NBR 11.174 – Armazenamento de Resíduos;
- NBR 11.174 – Armazenamento de Resíduos Classe II - Não Inertes e III – Inertes (Antiga NB-1.264);
- NBR 13.221 – Transporte de Resíduos;
- NBR 7.500 – Símbolos de Risco e Manuseio para o Transporte e Armazenagem de Materiais – Simbologia;
- Resolução do CONAMA nº 275/2001 (BRASIL, 2001), mencionada pela RDC – ANVISA nº 306/2004 – Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva;
- Resolução CONAMA nº 308/2002 – Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte (BRASIL, 2002);

3.4 TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MEIO AMBIENTE

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), a disposição final ambientalmente adequada de resíduos sólidos é a distribuição ordenada de rejeitos em aterros sanitários, estando de acordo com as normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Dentre os resíduos sólidos, alguns apresentam legislação específica para seu tratamento e disposição final, sendo entre os principais: o aterro comum (“lixões”), aterros controlados, aterros sanitários (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009).

Os aterros comuns (“lixões”) consistem na disposição final dos resíduos sólidos com menor custo, porém, ambientalmente danoso (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009), dos quais

são lançados diretamente no solo, sem critérios técnicos e medidas de proteção ambiental ou à saúde pública (FEAM, 2006), e que não deve mais ser considerados como alternativa de disposição final.

Já o aterro controlado é uma evolução dos lixões, que por intervenção da legislação e dos órgãos de proteção do meio ambiente, promovem a cobertura dos resíduos com solo (material inerte) ao final de cada dia de jornada de trabalho. Entretanto, o tratamento não é eficiente, uma vez que um aterro controlado não possui nenhum tipo de tratamento do chorume ou impermeabilização do solo, nem coleta dos gases produzidos na decomposição dos resíduos, causando assim sua poluição ou ainda a poluição das águas subterrâneas (NASCIMENTO, 2012).

No que se refere ao aterro sanitário, ao contrário do lixão e do aterro controlado, é a forma mais indicada para destinação final dos RSU, pois apresenta diversos sistemas de prevenção à poluição. Desta forma, tem o objetivo de evitar ao máximo a proliferação de vetores e a contaminação direta e indireta dos recursos naturais, além de permitir o controle da poluição do ar, da água, do solo e da poluição estética (LOPES, 2011).

A NBR 8.419 (ABNT, 2004a) conceitua os aterros sanitários de RSU como uma técnica de disposição dos RSU no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando assim os impactos ambientais, utilizando-se de princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos a uma menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os, posteriormente, com uma camada de solo na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, caso necessário, além de possuir um sistema de coleta, tratamento e armazenamento dos gases e de líquidos percolados nas células do aterro (chorume).

Uma das dificuldades encontradas no cenário brasileiro é que as áreas disponíveis para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos apresentam-se cada vez mais escassas, uma vez que devem ser atendidos critérios de ordem social, econômica e principalmente, ambiental. Entretanto, o que pode ser verificado é que a administração municipal, incumbida do gerenciamento dos RSU, geralmente opta pelas áreas que possuem menor valor econômico, porém nem sempre adequadas sob ponto de vista ambiental (SAMIZAVA et al, 2008).

Nesse sentido, a complexidade inerente a este tipo de análise, voltada a seleção de áreas, vem sendo facilitada com o auxílio dos recursos das geotecnologias, ferramentas computacionais, como Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), os quais fornecem suporte para discriminar áreas potenciais para instalação de aterros sanitários, de maneira mais rápida e eficiente, viabilizando o estudo referente à aptidão de aterros sanitários já instalados.

3.5 APLICAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO

O termo geoprocessamento pode ser desagregado em “geo” (terra – superfície – espaço) e “processamento” (de informações – informática). Assim, pode ser definido como ramo da ciência que estuda o processamento de informações georreferenciadas através da utilização de aplicativos (normalmente Sistemas de Informações Geográficas – SIGs), equipamentos (computadores e periféricos), dados de diversas fontes e profissionais especializados. Este conjunto deve permitir a manipulação, avaliação e geração de produtos (geralmente cartográficos), relacionados principalmente à localização de informações sobre a superfície da terra (PIROLI, 2010).

Para Couto (2009), a obtenção de informações sobre a distribuição geográfica de fenômenos e objetos constitui atividade importante na organização da sociedade. A análise através da combinação e do cruzamento de diversos dados em ambiente computacional, fornece informações, estas inicialmente contidas apenas em mapas e documentos em papel impresso, sendo possibilitada pelo progresso da informática, na segunda metade do século XX, dando início à prática do geoprocessamento.

Esta técnica é caracterizada por Câmara, Davis e Monteiro (2001) como uma área do conhecimento que faz uso de procedimentos matemáticos e computacionais no manuseio de informações geográficas, influenciando em Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), caracterizados como ferramentas computacionais do geoprocessamento, possibilitam análises complexas ao integrarem dados de diversas fontes e possibilitarem a criação de bancos de dados georreferenciados. Além disso, permitem a automatização da produção de documentos cartográficos.

Segundo Câmara (2007), o geoprocessamento é uma tecnologia multidisciplinar, que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos, para as quais o espaço é uma linguagem comum. Para o mesmo autor, se a variável “onde” é importante para o negócio pretendido, então é o geoprocessamento a ferramenta de trabalho a ser utilizada, principalmente em se tratando da dimensão continental do Brasil, em que há uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais.

De acordo com Piroli (2010), os principais componentes do geoprocessamento são:

- Informática: a evolução da informática possibilitou o desenvolvimento das geotecnologias, permitindo o trabalho com grandes volumes de dados nos ambientes

computacionais, necessários nos projetos desenvolvidos em geoprocessamento. A informática divide-se em *hardware*, que corresponde ao computador e aos periféricos utilizados, e *software*, que se refere aos aplicativos que fornecem as rotinas e módulos necessários para adquirir, armazenar, visualizar e plotar as informações geográficas.

- Sistemas de Informações Geográficas (SIGs): são sistemas de informações designados a trabalhar com dados referenciados a coordenadas espaciais, geralmente constituídos por programas e processos de análise, que têm como característica principal associar uma informação de interesse com sua localização espacial. Estes aplicativos possibilitam a manipulação de dados geograficamente referenciados e seus respectivos atributos e a integração desses dados em várias operações de análise geográfica.
- Sensoriamento Remoto (SR): é a arte e a ciência de se obter informação sobre um objeto sem estar diretamente em contato físico com ele, podendo ser utilizado para medir e monitorar importantes características biofísicas e atividades humanas na Terra.
- Sistema de Posicionamento Global (GPS): constituído por uma constelação de pelo menos 24 satélites que orbitam a Terra a 20.200 km de altitude, cada um passando sobre o mesmo ponto da superfície terrestre duas vezes por dia. Estes satélites enviam sinais de rádio que são captados pelo aparelho receptor GPS, que em função da localização dos satélites calcula e informa a coordenada de qualquer ponto da superfície do planeta.
- Cartografia Digital: os mapas e cartas topográficas, se transformados em imagens, fornecem informações preciosas para o geoprocessamento. Muitos mapas estão disponíveis no formato analógico (em papel), no entanto, podem ser convertidos para o formato digital através de *scanners*.
- Topografia e Levantamentos em Campo: apesar da tecnologia estar bastante evoluída e as fontes de dados hoje disponíveis serem bem diversas, a complementação e a confirmação das informações no campo ainda são fundamentais e indispensáveis na maioria dos projetos de geoprocessamento. Além disso, as escalas dos materiais disponibilizados muitas vezes não permitem o detalhamento exigido para determinados fins. A topografia possibilita o levantamento de informações com a qualidade requerida, especialmente em pequenas áreas. Embora atualmente se disponha de imagens de satélite de alta resolução, o custo das mesmas e as dificuldades na sua obtenção muitas vezes fazem com que a utilização das técnicas de topografia seja a solução para levantamentos de informações locais.

- **Processamento Digital de Imagens (PDI):** caracteriza as transformações e adaptações realizadas para modificar uma imagem, com a finalidade de ajustá-la à necessidade de um determinado trabalho. Os processamentos mais habituais usados em geoprocessamento são as composições de bandas de imagens de satélite, correções atmosféricas, aplicações de filtros e de contrastes, elaboração de fusões de imagens, transformações e restituições, classificações de imagens, reclassificações, entre outros. O domínio destas técnicas e em que casos as aplicar é um dos elementos mais importantes no trabalho com geoprocessamento.
- **Profissional capacitado:** todo o conjunto de ferramenta e tecnologias apresentados anteriormente de nada adianta se não houver o profissional especializado, com capacidade para aplicar os recursos tecnológicos disponíveis, integrar o uso das diferentes metodologias e interpretar os resultados do trabalho desenvolvido.

A ferramenta de maior relevância no geoprocessamento é o SIG e, provavelmente por essa razão, diversas vezes estes termos são usados como sinônimos, apesar do segundo estar contido no primeiro. O SIG é o personagem principal, pois tem a capacidade de armazenar e processar dados provenientes de diferentes fontes e combiná-los para gerar informações relevantes, seja por meio de relatórios, gráficos ou cartografia temática digital. O SIG é, portanto, indispensável para a caracterização e análise dos fenômenos que ocorrem no espaço geográfico (NASCIMENTO, 2012).

Além de possibilitar o aperfeiçoamento e a integração dos dados, as técnicas do geoprocessamento também permitem realizar análises mais complexas, com a associação destas às informações obtidas do imageamento a partir de aeronaves ou plataformas orbitais (satélites), além dos radares, e a incorporação destes dados através do uso de *hardware*, *software* e banco de dados espaciais, chegando-se a um grande conjunto de elementos que permitem a utilização da informação geográfica de forma a avaliar conjunturas e distinguir potencialidades (FONSECA, 2008).

Atividades complexas, como o planejamento e a tomada de decisão, foram favorecidas pela possibilidade de processamento simultâneo de grandes quantidades de dados georreferenciados. Inserido nesse contexto, tem-se a seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos a qual é exemplo de atividade em que, com o emprego do geoprocessamento, se observa significativa melhora na qualidade dos resultados e facilidades em toda a operação (GOMES et al., 2001).

3.5.1 Sistemas de Informações Geográficas – SIGs

Os Sistemas de Informações Geográficas, conhecidos como SIGs, compreendem importantes instrumentos de organização e análise da informação, sendo utilizados dentro das mais diversas especialidades. Foram criados e desenvolvidos para proporcionar aos utilizadores a integração de informação georreferenciada num sistema de informática, permitindo através de ferramentas de análise, a geração de novas informações, em função das necessidades específicas dos usuários (PIROLI, 2010).

Para Melo, Menezes e Sampaio (2006) tem-se a seguinte definição:

O SIG pode ser considerado como a combinação de hardware, software, dados, metodologias e recursos humanos envolvidos que operam de forma coerente para analisar e produzir novas informações geográficas. Parte dos recursos humanos é formada pelos usuários do SIG; em geral, são especialistas que coletam, manuseiam, armazenam, recuperam, examinam e geram novas informações georreferenciadas em um ambiente computacional para solucionar problemas de planejamento e gerenciamento espacial.

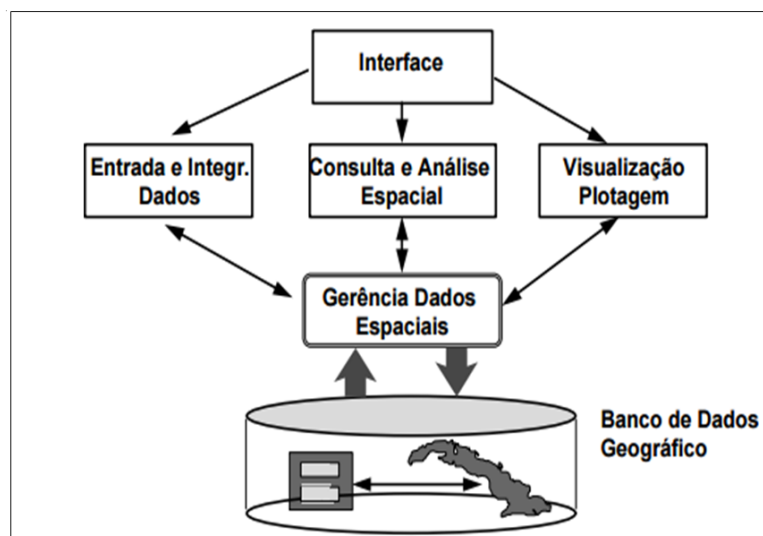
De acordo com Piroli (2010), os SIGs podem ser aplicados em quaisquer as áreas pelas quais possam ter suas informações mapeadas, são exemplos de aplicações:

Determinação de áreas economicamente mais propícias a uma cultura agrícola; Determinação de áreas com risco à erosão; Geração de mapas de acidentes de trânsito ocorridos em determinados períodos, em determinada região; Delimitação de áreas de proteção e preservação; Previsão de safras agrícolas; Estudo de capacidade de uso das terras; Planejamento do escoamento da produção; Cadastros de espécies vegetais e animais; Escolha da melhor área para implantação de escolas, hospitais, creches, comércios, indústrias, represas; Zoneamentos ambientais, econômicos, sociais; Monitoramento ambiental; Modelagens de expansão de atividades ou ocupações.

Para Moura (2005), os SIG são essenciais para o planejamento, pela sua capacidade de contribuir na sistematização de dados, já que ao buscar formas de trabalhar com as relações espaciais ou lógicas, tende-se a evoluir do descritivo para o prognóstico. Ao invés de, simplesmente descrever elementos ou fatos, pode-se traçar cenários, simulações de fenômenos, com base em tendências observadas ou julgamentos de condições estabelecidas.

Na Figura 3 pode-se observar a estrutura geral de um SIG proposta por Câmara, Davis e Monteiro (2001). A interface representa o conjunto de telas do sistema, que possibilitam o acesso e alteração dos dados; o módulo de entrada e integração dos dados está relacionado à importação desses dados para o sistema; a parte de consulta e análise espacial possui a implementação das técnicas para o processamento dos dados; a visualização e plotagem permitem a análise visual e elaboração dos mapas e outros resultados visuais gerados por meio de geoprocessamento; e a gerência de dados está relacionada ao armazenamento no banco de dados geográfico.

Figura 3 – Estrutura geral do SIG.



Fonte: Câmara e Davis (2001).

Para que a funcionalidade do SIG se cumpra é necessário um banco de dados, cuja aquisição depende do projeto que vai ser realizado e dos parâmetros, indicadores e variáveis que serão utilizados. Estes dados podem ser obtidos em órgãos governamentais federais e/ou estaduais, Secretarias, Prefeituras, Concessionárias e outros, porém, caso não se encontre todos os dados necessários, deve-se gerá-los, o que demandará custos, prazos e tempo necessário para sua formação (NASCIMENTO, 2012).

Na representação de dados em geoprocessamento há duas grandes classes de representações geométricas: matricial e vetorial. A representação matricial consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento que está sendo representado e a cada célula, atribui-se um valor referente ao atributo estudado. Exemplos de dados matriciais são as imagens de sensoriamento remoto e as grades altimétricas. Já na representação vetorial, um elemento é reproduzido geometricamente a partir de três formas básicas: pontos, linhas, áreas ou polígonos. Os dados cadastrais, como os lotes de uma cidade, são exemplos de representações desse tipo (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Além de permitirem um fácil acesso à informação múltipla integrada numa única base de dados, os SIG possibilitam a elaboração de diferentes cenários alternativos e a simulação dos seus efeitos espaciais, permitindo uma melhor e mais correta definição das medidas de planejamento a serem aplicadas. Por este motivo, constituem instrumentos poderosos de apoio à decisão nos diferentes níveis.

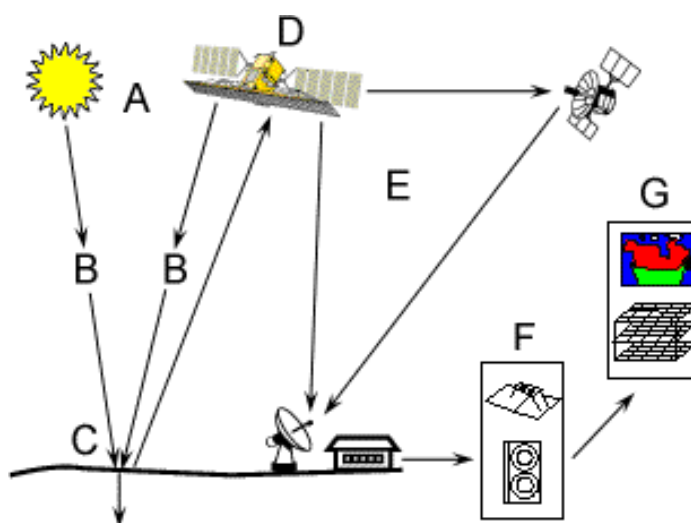
3.5.2 Sensoriamento Remoto – SR

O Sensoriamento Remoto (SR) pode ser caracterizado pela obtenção de informações de um objeto sem existir o contato físico nele, e muitas vezes à longas distâncias (BERNARDI, 2014). De acordo com Rocha (2000), o sensoriamento remoto pode ser conceituado como a aplicação de dispositivos que, colocados em aeronaves ou satélites, nos permitem obter informações sobre objetos ou fenômenos da superfície da Terra.

O Sensoriamento Remoto iniciou com a invenção da câmera fotográfica, primeiro instrumento utilizado e que atualmente é ainda empregado para tomada de fotos aéreas. Inicialmente essas câmaras eram carregadas por pombos, balões e posteriormente por aviões, normalmente com fim militar de fotografar áreas inimigas e obter informações em épocas de conflitos e, somente posteriormente, estes dados foram utilizados também para uso civil (FIGUEIREDO, 2005).

Na Figura 4 observa-se a ilustração do princípio básico de funcionamento do SR, que compreende a transferência de energia eletromagnética de uma fonte artificial ou natural, sendo o Sol (A) a fonte natural mais significativa para a Terra. Essa energia se propaga (B) com frequências e comprimentos de ondas específicos os quais, ao colidirem sobre determinada superfície (C), o alvo, podem ser, de um modo geral, absorvidos ou refletidos conforme a natureza da substância. Parte da energia refletida é então captada por sensores instalados em satélites (D), que os enviam às estações de recepção na Terra (E) e processam e analisam as informações (F) gerando dados tais como imagens ou valores numéricos (G) (DUCATTI, 2010).

Figura 4 – Princípio básico do funcionamento do Sensoriamento Remoto.



Fonte: (LA OTRA OPINIÓN, 2018).

As imagens de satélite experimentaram um novo impulso na obtenção de dados para a área ambiental, especialmente a partir da década de 1970, com o lançamento de sensores orbitais, pancromáticos e/ou espectrais (LANDSAT, SPOT, CBERS, IKONOS, QUICKBIRD e NOAA). Os cinco primeiros são destinados ao monitoramento e levantamento dos recursos naturais terrestres, enquanto o último é um satélite meteorológico, destinado principalmente aos estudos climáticos e atmosféricos, mas também utilizado para SR (FIGUEIREDO, 2005). A resolução das imagens produzidas pelos diferentes sensores apresenta características distintas, podendo ser um dos fatores determinantes da sua aplicação.

Diante dos aspectos gerais considerados, o sensoriamento remoto favorece a obtenção de informações sobre o terreno, em seus aspectos fisiográficos como em relação ao uso do solo.

3.5.3 Sistema de Posicionamento Global – GPS

O Sistema de Posicionamento Global – GPS (*Global Positioning System*) ou NAVSTAR – GPS (*Navigation Satellite with Time And Ranging*) é um sistema de rádionavegação que foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (CARVALHO e ARAÚJO, 2009).

O GPS é constituído por três segmentos principais: espacial, controle e o usuário. O segmento espacial é formado por 24 satélites artificiais que emitem sinais eletromagnéticos, distribuídos em 6 planos orbitais circulares (CARVALHO e ARAÚJO, 2009). No tocante ao segmento de controle, trata-se de estações terrestres que monitoram e controlam continuamente os satélites, determinação do tempo GPS, além de prever as efemérides dos satélites, calcular as correções dos respectivos relógios e atualizar sistematicamente as mensagens de navegação de cada satélite (ALBUQUERQUE e SANTOS, 2003). Já o segmento dos usuários está relacionado às aplicações do sistema, referente a tudo que seja relacionado à comunidade usuária, os diversos tipos de receptores e os métodos de posicionamento por eles utilizados (ALBUQUERQUE e SANTOS, 2003).

3.5.4 Softwares Livres

Atualmente, a utilização de *softwares*, especialmente os *softwares* gratuitos e/ou livres/*softwares* de código aberto, têm se tornado importante ferramenta no estudo do geoprocessamento e na confecção de mapas e produtos cartográficos digitais.

Os *softwares* livres/*softwares* de código aberto (*Open Source*) referem-se a *software*/programa que permite ao usuário liberdade de executar o programa para qualquer

finalidade, distribuir cópias, estudar o funcionamento do programa e adaptá-lo a suas necessidades, aperfeiçoar o programa e liberar os seus aperfeiçoamentos, de acordo com Licença Pública Geral (*General Public Licence* – GPL/GNU) (TRINDADE, 2012). Entretanto, no *software*/programa gratuito que o usuário pode utilizar dele sem pagar, mas não fazer alterações, já que não terá acesso ao código fonte.

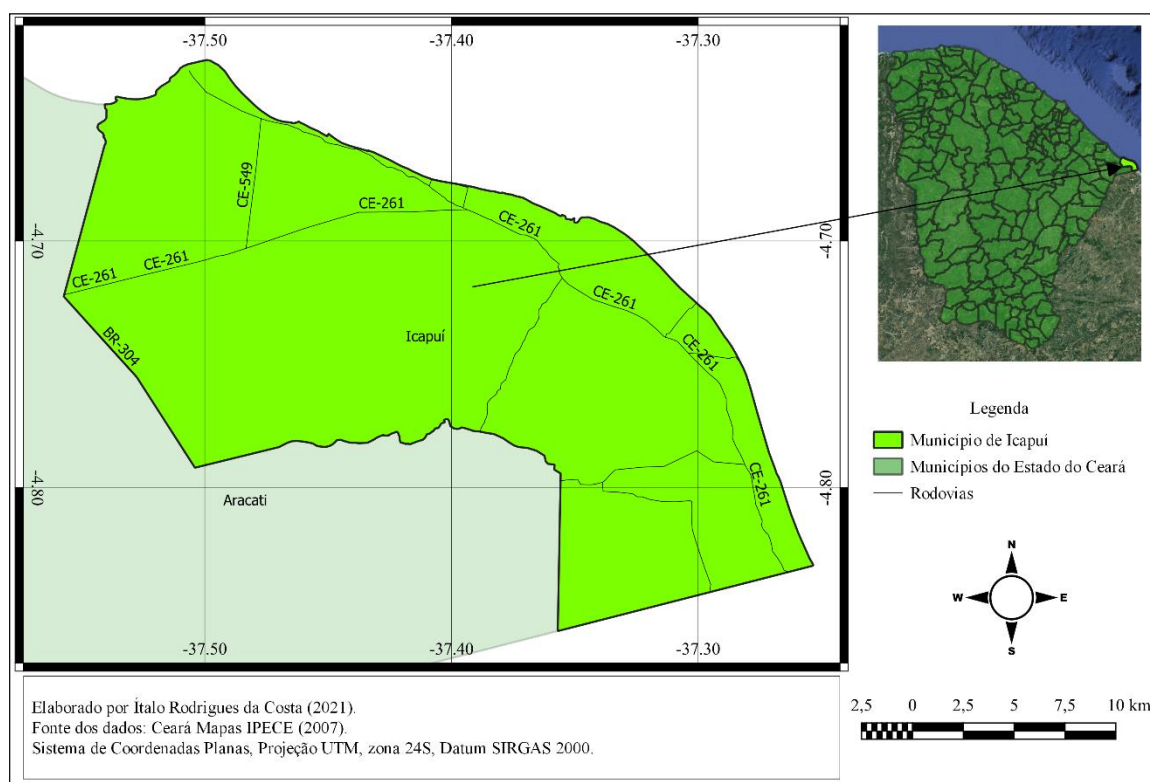
Dentre vários *softwares* livres/*softwares* de código aberto pode-se exemplificar o Quantum GIS, ou mais popularmente conhecido atualmente como QGIS, como importante ferramenta no estudo do geoprocessamento e na confecção de mapas e produtos cartográficos digitais. O *software* QGIS possui inúmeras ferramentas para manipulação de dados e suporta diversas bases de dados nos formatos vetorial e matricial. Atualmente, o QGIS está disponível em plataformas *Windows*, *Unix*, *Mac OSX*, *Linux* e *Android* (QGIS, 2021).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A presente pesquisa foi desenvolvida no município de Icapuí, o qual está inserido na microrregião do Baixo Jaguaribe, localizado no litoral leste do estado do Ceará (CE), Brasil, sob coordenadas geográficas 4°42'9'' de latitude Sul, 37°20'53'' de longitude Oeste, e altitude de 16 m (IBGE, 2021). Na Figura 5, pode-se observar a localização geográfica do município de Icapuí-CE.

Figura 5 – Mapa de localização geográfica do Município de Icapuí, no estado brasileiro do Ceará (CE).



Fonte: Autoria própria.

O município de Icapuí-CE possui uma área territorial de 421,440 km², com uma população estimada de 20.060 habitantes no ano de 2020 (IBGE, 2021). De acordo com Santos (2014), as principais fontes de renda predominantes do município envolvem exploração de recursos naturais, sendo estas: extração de sal, pesca, carcinicultura, piscicultura, agricultura e turismo. Segundo o último Censo do IBGE (2010), apenas 31,47% da população é residente da zona urbana.

Considerando os aspectos fisiográficos, o solo de Icapuí-CE é composto de areias quartzosas distróficas (alto teor de salinidade) e marinhas, propício apenas para a cultura de subsistência, fruticultura e a pecuária extensiva (LIMA, 2017).

O referido município possui clima tropical quente semiárido, com período chuvoso concentrado entre os meses de fevereiro e maio; estando inserido no bioma Caatinga e sua vegetação é composta pelo ecossistema manguezal, na região de praia; matas de tabuleiro, que abrangem boa parte do município; e a formação de floresta mista dicótilo-palmácea, nas áreas mais úmidas e de influência marinha (MEIRELES e SANTOS, 2012).

Como a coleta de RSU do município de Icapuí é feita em todas as comunidades do município, logo foi considerado tanto a população urbana quanto a rural para fins de cálculo do volume de RSU gerado. Com isso, o aterro sanitário deve ser dimensionado considerando a população total do município.

4.2 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE ÁREAS APTAS A IMPLANTAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO

A definição de áreas com potencial para implantação do aterro sanitário foi realizada por meio de levantamento de referências bibliográficas relacionadas ao tema, bem como com base em normas e critérios ambientais, sociais e econômicos pré-estabelecidos em normas e leis, em conjunto com as ferramentas de geoprocessamento. Sendo necessário inicialmente dimensionar a seção de área necessária para potencial implantação do dispositivo do aterro sanitário, para posteriormente elencar os cenários com melhores condições respeitando os critérios técnicos, ambientais, sociais e econômicos.

4.2.1 Projeção populacional

Para dimensionar a área necessária para implantação do aterro sanitário no município de Icapuí-CE fez-se necessário pesquisar e estimar alguns dados, como: projeção populacional; volume acumulado, volume total e área do confinamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU); material de cobertura; altura média de cada célula e infraestrutura do aterro sanitário.

Para a previsão populacional foi utilizado o método geométrico, utilizado por Almeida (2016), o qual considera que o crescimento populacional obedece a uma relação matemática do tipo geométrica. Desta forma, para a estimativa da população em um ano “n” qualquer, é necessário conhecer a taxa de crescimento geométrico (g) da população entre dois pontos conhecidos: $P_0(t_0)$ e $P_1(t_1)$. Para estimar a taxa de crescimento e a população para o município de Icapuí-CE, utilizou-se as Equações 1 e 2.

$$g = \left(\sqrt[\Delta t]{\frac{P_1}{P_0}} \right) - 1 \quad (1)$$

$$P_n = P_1 \times (1 + g)^{\Delta t} \quad (2)$$

Em que:

g = taxa de crescimento geométrico;

Δt = variação do tempo;

P_n = população no ano “n”;

P_0 = população no ano t_0 (ano anterior); e,

P_1 = população no ano t_1 (ano atual).

De acordo com a ABNT NBR 13.896/97, a vida útil mínima do aterro sanitário é de 10 anos. Diante disso, considerou a vida útil de 20 anos para o aterro sanitário, que é o tempo médio regular para dimensionamento das células, assegurando a condição operacional regular do dispositivo. Com isso, o tempo do horizonte do projeto se iguala à vida útil do aterro sanitário, a qual foi determinada 20 anos.

Foi feita a previsão populacional de 20 (vinte) anos para o município de Icapuí, o que corresponde ao tempo previsto para vida útil do aterro, a qual foi projetada a partir do método de projeção geométrica, tomando por base as estimativas do IBGE para os anos de 2018, 2019 e 2020 (IBGE, 2018; 2019; 2020).

4.2.2 Geração *per capita* e massa de resíduos sólidos urbanos

Para selecionar áreas para implantação de um aterro sanitário, são necessários a obtenção de alguns dados como a quantidade gerada de RSU e o volume do aterro. A metodologia para estimar tais parâmetros foi baseada em critérios e parâmetros estabelecidos pela Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental (ReCESA, 2008; Monteiro et al., 2001; Noé, 2013).

A estimativa da quantidade de RSU gerada durante o período determinado foi baseada no crescimento populacional, na geração *per capita* e no índice de coleta de resíduos sólidos. Sendo a geração *per capita* baseada em Monteiro et al. (2001), adotada em $0,50 \text{ kg hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para municípios com até 30 mil habitantes, que é o caso do município de Icapuí. No Quadro 1 observa-se a faixa de variação da geração *per capita* referente ao tamanho da população.

Quadro 1 – Faixa de variação da geração per capita de RSU de acordo com o porte do município e a população.

Tamanho/porte da cidade	População urbana (hab.)	Geração <i>per capita</i> (kg hab ⁻¹ dia ⁻¹)
Pequena	Até 30 mil	0,50
Média	De 30 a 500 mil	0,50 a 0,80
Grande	De 500 mil a 5 milhões	0,80 a 1,00
Megalópole	Acima de 5 milhões	Acima de 1,00

Fonte: Adaptado pelo autor (MONTEIRO et al., 2001).

Portanto, foi considerado a previsão populacional e a geração *per capita* para os 20 (vinte) anos (tempo previsto para vida útil do aterro). Com relação a cobertura da coleta dos RSU do município de Icapuí-CE, foi adotada 80% para os seis primeiros anos e de 100% para os demais anos do horizonte do projeto, adaptada da metodologia de Noé (2013).

A estimativa da massa de resíduo foi baseada em Monteiro et al. (2001) e ReCESA (2008), por meio da Equação 3:

$$M_r = P \times G_p \times c \quad (3)$$

Onde:

M_r = massa de resíduos (kg dia⁻¹);

P = população do município (hab);

G_p = geração per capita (kg hab⁻¹ dia⁻¹); e,

c = cobertura da coleta (%).

4.2.3 Volume dos RSU e a área do aterro sanitário

Para estimar o volume de RSU, foi necessário primeiramente conhecer o peso específico de compactação. De acordo com Catapreta, Simões e Barros (2006) a densidade média dos resíduos sólidos compactados no aterro sanitária varia em torno de 700 a 1.100 kg m⁻³. Sendo assim, para os resíduos sólidos que serão depositados no aterro sanitário, foi adotado a densidade de 800 kg m⁻³, haja vista que se considera que haverá compactação mecânica dos resíduos.

De posse destes dados, foi estimado o volume de resíduo produzido diariamente e anualmente, o volume acumulado para o período previsto e o volume total (volume total dos

resíduos compactados) (ReCESA, 2008), que equivale ao volume acumulado acrescido de 20% (material inerte de cobertura das células, solo).

Com relação a área do confinamento dos resíduos, somou-se o volume acumulado total para os 20 (vinte) anos do município em questão, adicionando o volume acrescido de solo, e dividiu-se pela altura média padrão das células do aterro sanitário, adotada em 3 (três) metros, como estimado por Monteiro et al. (2001).

No tocante a estimativa do tamanho da área para implantação do aterro, considerou-se a área de confinamento dos resíduos, acrescido de 30%, que corresponde à área de infraestrutura ou operacional do aterro, conforme Marques (2011).

4.2.4 Critérios para seleção de áreas aptas para implantação de aterros sanitários

No Quadro 2 pode-se observar os critérios e restrições que devem ser seguidos para seleção de áreas com potencial para implantação de aterro sanitário.

Quadro 2 – Critérios e restrições para seleção de áreas aptas para implantação de aterros sanitários.

Critérios	Aspecto técnico/legal	Restrição
Proximidade a cursos d'água relevantes	ABNT NBR 13.896/97	Distância mínima de 200 metros dos aterros sanitários a qualquer coleção hídrica ou curso d'água tais como, rios, lagos, lagoas e oceano.
Distância de vias	ReCESA (2008)	Distância mínima de 100 metros dos aterros sanitários às vias.
Proximidade a núcleos residenciais urbanos	ABNT NBR 13.896/97	Distância superior a 500 metros dos núcleos residenciais.
Vida útil mínima	ABNT NBR 13.896/97	Vida útil mínima dos aterros sanitários tem que ser de 10 anos.
Permeabilidade natural do solo	Monteiro et al. (2001)	Características argilosas, jamais deverão ser arenosas.
Uso do solo	Monteiro et al. (2001)	Uso rural ou industrial e está fora de unidades de conservação ambiental.
Declividade	ABNT NBR 13.896/97	Declividade superior a 1% e inferior a 30% para instalação de aterro sanitário.
Custo de investimento em construção e infraestrutura	Monteiro et al. (2001)	Dispor de infraestrutura completa (abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, drenagem de águas pluviais, distribuição de energia elétrica e telefonia).
Custo com manutenção do sistema de drenagem	Monteiro et al. (2001)	Relevo “suave”, para reduzir a erosão do solo e reduzir os gastos com a limpeza e manutenção dos componentes do sistema de drenagem.
Distância de núcleos urbanos de baixa renda	Monteiro et al. (2001)	Manter distância dos núcleos urbanos, para evitar que algumas pessoas busquem a catação do lixo como forma de sobrevivência, e acabar gerando para as prefeituras responsabilidades sociais e políticas. Mas se a área estiver próxima, deve-se criar mecanismos para à formação de cooperativas de catadores, podendo trabalhar em instalações de reciclagem no aterro/ruas da cidade.
Legislação Municipal	Monteiro et al. (2001)	Analisar a legislação municipal (Lei de Uso e Ocupação do Solo, Política Municipal de Meio Ambiente, Plano Diretor) no que define ações a serem obedecidas quanto à disposição final de resíduos e o uso do solo.

Fonte: Adaptado pelo autor (MONTEIRO et al., 2001; ReCESA, 2008; ABNT NBR 13.896, 1997).

Para analisar e escolher a área mais apta para instalação do aterro sanitário foi considerado o grau de prioridades dos critérios estabelecidos, além de considerar sua relevância, embasado em Monteiro et al. (2001). Ao analisar as áreas selecionadas previamente, deve verificar o tipo de atendimento da área quanto ao critério que está sendo analisado. São três tipos de atendimento: Total (T), Parcial (P) e Não Atende (NA), os quais carregam consigo seu respectivo peso, que é 100, 50 e 0%, respectivamente. Com isso, o peso será multiplicado pelos pontos de cada critério. Por sua vez, o atendimento aos critérios selecionados e a prioridade se deu por meio da ponderação de pesos/notas atribuídos a estes, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Hierarquização, pesos e tipo de atendimento aos critérios selecionados.

Crítérios	Prioridade	Pontos	Peso (%)	Tipo de atendimento
Atendimento ao Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras (SLAP) e à legislação ambiental em vigor.	1	10	100	Total (T)
Atendimento aos condicionantes político-sociais.	2	6		
Atendimento aos principais condicionantes econômicos.	3	4	50	Parcial (P)
Atendimento aos principais condicionantes técnicos.	4	3		
Atendimento aos demais condicionantes econômicos.	5	2	0	Não atende (NA)
Atendimento aos demais condicionantes técnicos.	6	1		

Fonte: Adaptado pelo autor (MONTEIRO et al., 2001).

Cada área selecionada foi avaliada individualmente por meio dos critérios supracitados verificando se atendem "totalmente", "parcialmente" ou "não atende" aos critérios escolhidos. Para tanto, a área selecionada deverá atender ao maior número de critérios e considerar os critérios de maior prioridade.

4.2.5 Aplicação do geoprocessamento

Depois de estabelecidos os critérios no Quadro 2, foi feito o mapeamento de áreas não aptas à disposição final de rejeitos em aterro sanitário, foram criados mapas temáticos em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para identificação das feições de interesse e posterior cruzamento de fatores de relevância, para tal, foi necessária a criação de um banco de dados em ambiente SIG.

Os dados levantados foram em formatos vetorial e matricial e foram coletados conforme mostra o Quadro 4.

Quadro 4 – Tipos de shapefiles e fontes.

Shapefile	Título	Fonte (link)
Delimitação do município	Limite municipal	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE (http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/ogc/index.php)
Rodovias	Rodovias pavimentadas	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE (http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/ogc/index.php)
Uso e ocupação do solo	Vegetação	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/vegetacao)
Solos	Solos	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE (http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/ogc/index.php)
Mancha urbana	Mancha urbana	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE (http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/ogc/index.php)
Hidrografia	Corpos d'água	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE (http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/ogc/index.php)
Declividade	Digital Elevation - SRTM 1 Arc-Second Global	United States Geological Survey – USGS (https://earthexplorer.usgs.gov/)

Fonte: Autoria própria (2021).

Para elaboração dos mapas temáticos, foram realizadas com auxílio de técnicas de geoprocessamento, utilizando-se do software livre e gratuito voltado para o Sistema de

Informações Geográficas (SIG) denominado por QGIS, versão 3.16 (QGIS, 2021) usado para realização de processamento dos dados georreferenciados em formato Shapefiles, onde o Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) utilizado foi o SIRGAS 2000, Datum oficial do Brasil (IBGE, 2021), em sistema de coordenadas planas, com projeção cartográfica Universal Transversal de Mercator (UTM) / Zona 24 – Sul, com código EPSG: 32724. Utilizando a ferramenta *Recorte* do QGIS, foi feito o recorte dos dados obtidos, conforme o Quadro 4, para o município de Icapuí.

Visando obedecer aos critérios estabelecidos no Quadro 2, determinou-se as coordenadas de localização dos vértices de três áreas para estudo com auxílio do Google Earth (GOOGLE EARTH, 2021) e, posteriormente, foram transferidas para o software QGIS.

Após finalizar os mapas temáticos do município de Icapuí, foi aplicado a ferramenta *buffer* do QGIS nas áreas com restrições de acordo com o Quadro 2. Para hidrografia, foi aplicado *buffer* de 200 metros, mancha de 500 metros e rodovias de 100 metros. Para obter a declividade, foi utilizado a ferramenta *declive* do QGIS no shapefile do Modelo Digital de Elevação – MDE. Os mapas temáticos dos solos e uso e ocupação foi feito apenas a sobreposição das áreas de estudo.

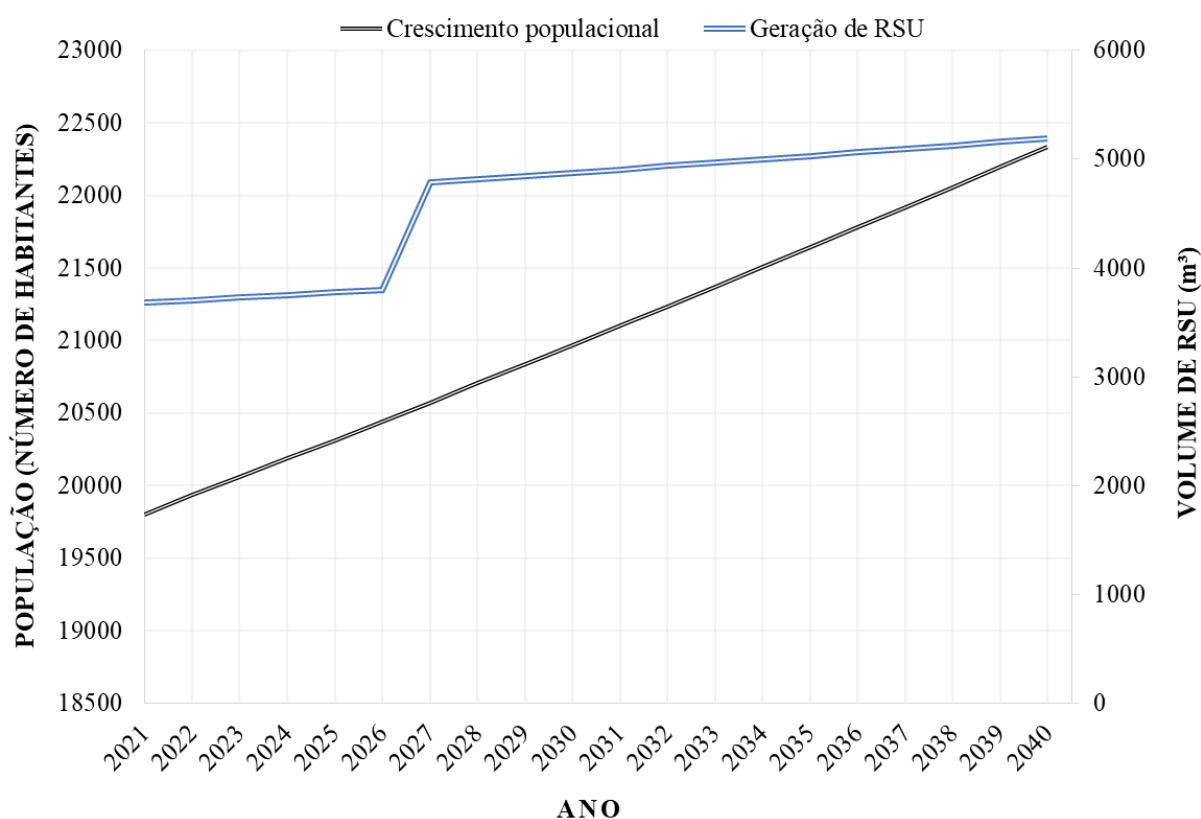
Por fim, foi feito a sobreposição das áreas selecionadas previamente nos mapas temáticas com a finalidade de averiguar se as áreas atendem aos critérios estabelecidos para análise mencionado no Quadro 2 e identificado a área que atende maior parte dos critérios.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ESTIMATIVA DO TAMANHO DA ÁREA PARA IMPLANTAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO

A partir do levantamento da estimativa de crescimento populacional nos anos de 2018, 2019 e 2020 realizadas pelo IBGE, pode-se estimar a população do município de Icapuí-CE, referente ao horizonte de planejamento do aterro sanitário (2021 - 2040), conforme pode ser observado na Figura 6 e detalhado no APÊNDICE A.

Figura 6 – Projeção geométrica de crescimento populacional do município de Icapuí-CE para os próximos 20 anos, de 2021 a 2040.



Fonte: Elaboração própria (2021).

No município de Icapuí-CE a coleta de resíduos sólidos não é realizada todos os dias, porém a geração dos resíduos sólidos é feita diariamente pela população e, para o período de 20 anos, verificou-se um volume acumulado total estimado em 92.259 m³ de RSU, que está mais detalhado no APÊNDICE B. Cabe ressaltar que tal geração considera todo o resíduo gerado no município sem nenhum programa de intervenção, como reciclagem e/ou compostagem.

Para estimar o volume total do aterro sanitário, acrescentou-se ao volume acumulado 20% de solo, que representa 18.452 m³ referente ao material necessário para recobrimento dos resíduos e das células do aterro. A partir disso, verificou-se que o volume total do aterro sanitário encontrado equivale a 110.711 m³.

Partindo deste pressuposto, a área de confinamento dos resíduos deverá ser de 36.904 m², sendo acrescidos 30% à área encontrada para implantação da infraestrutura de operação do aterro sanitário, conforme utilizada por Marques (2011) totalizando uma área total passível de atender o município de Icapuí-CE de 47.975 m² ou aproximadamente 4,8 hectares.

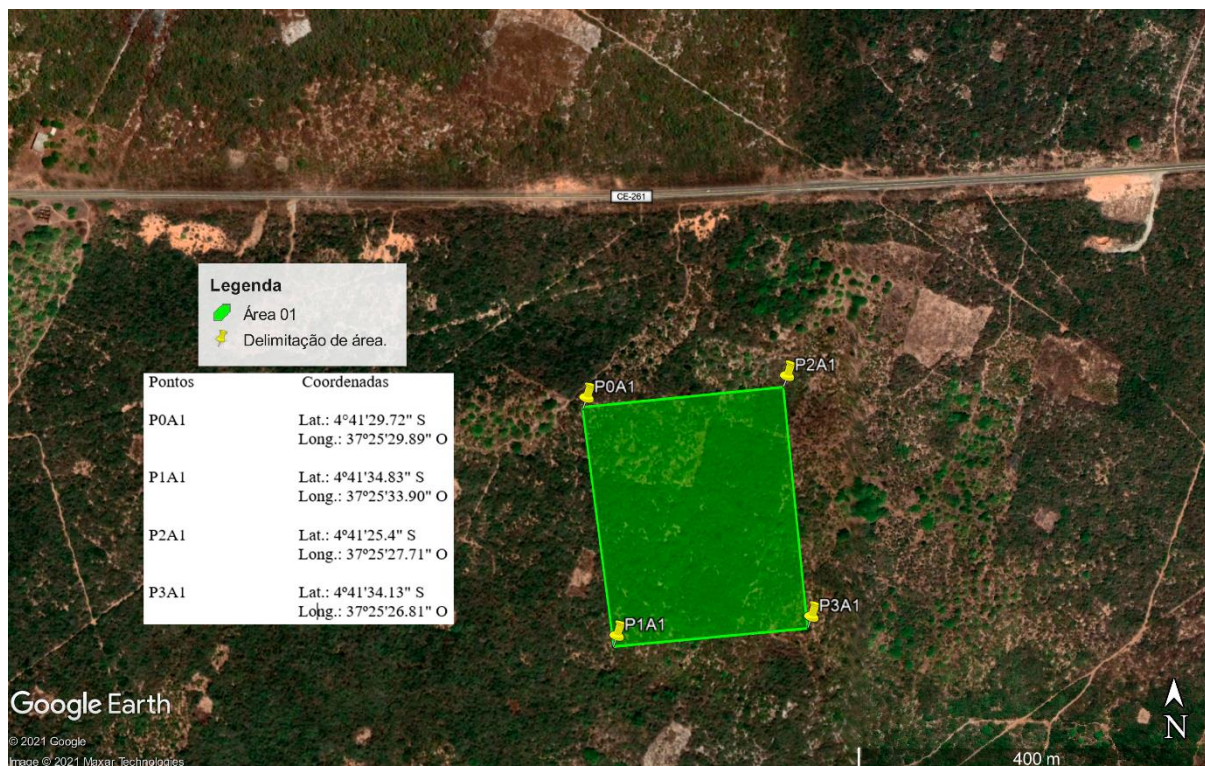
5.2 ESTUDO DAS POTENCIAIS ÁREAS APTAS PARA IMPLANTAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO

5.2.1 Localização das áreas previamente selecionadas e estudadas

Diante da espacialização dos critérios e restrições explícitos no Quadro 3, elencou-se 3 (três) áreas possuírem dimensão territorial de 5,0 hectares, sendo maiores que o mínimo de área necessário para implantação do aterro sanitário, e situam-se na zona rural do município de Icapuí-CE.

A Área 1 apresenta coordenadas geográficas de 4°41'29,76" de latitude Sul, e 37°25'30,81" de longitude Oeste, com altitude de 63 metros em relação ao nível médio do mar, nas proximidades da rodovia estadual CE – 261, como pode ser visualizado na Figura 7.

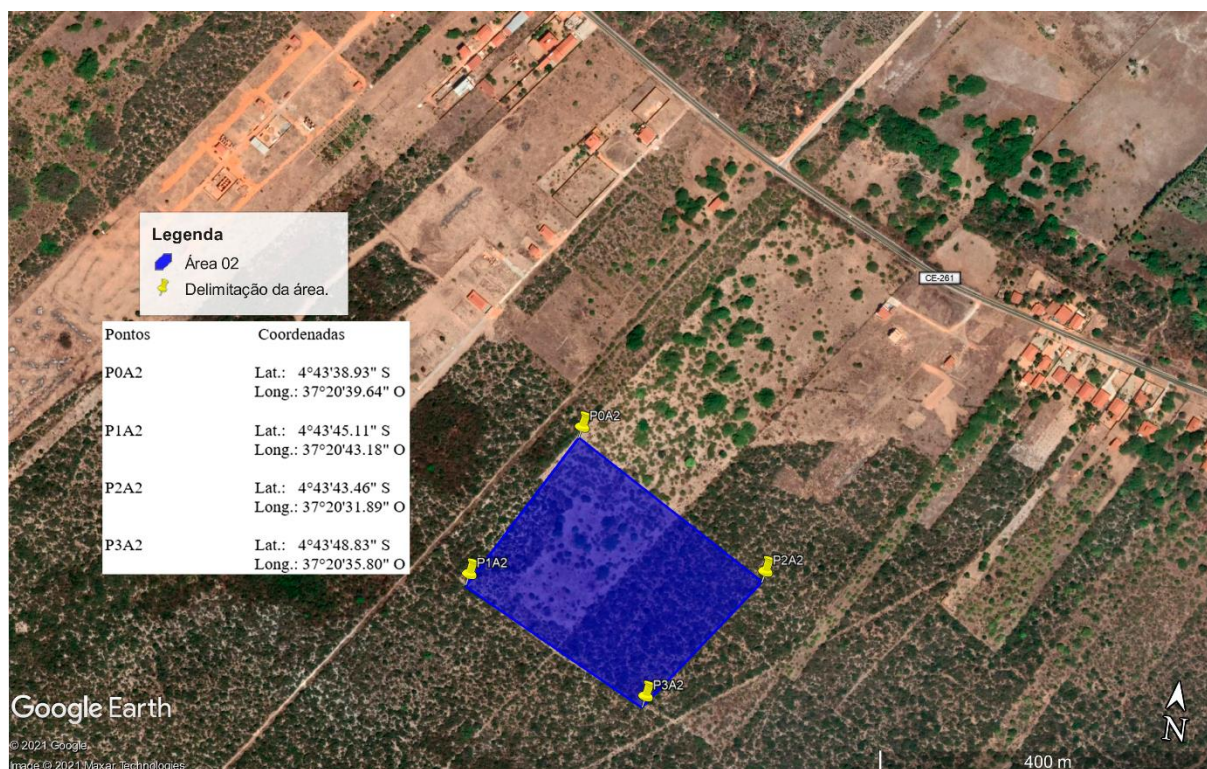
Figura 7 – Localização geográfica da Área 1.



Fonte: Adaptado pelo autor (GOOGLE EARTH PRO, 2021).

No que se refere a Área 2, ilustrada na Figura 8, está situa-se também nas proximidades da rodovia estadual CE – 261, no sentido do estado do Rio Grande do Norte (RN), com coordenadas geográficas de 4°43'43,86" de latitude Sul, e 37°20'37,53" de longitude Oeste, com altitude de 30 metros acima do nível médio do mar.

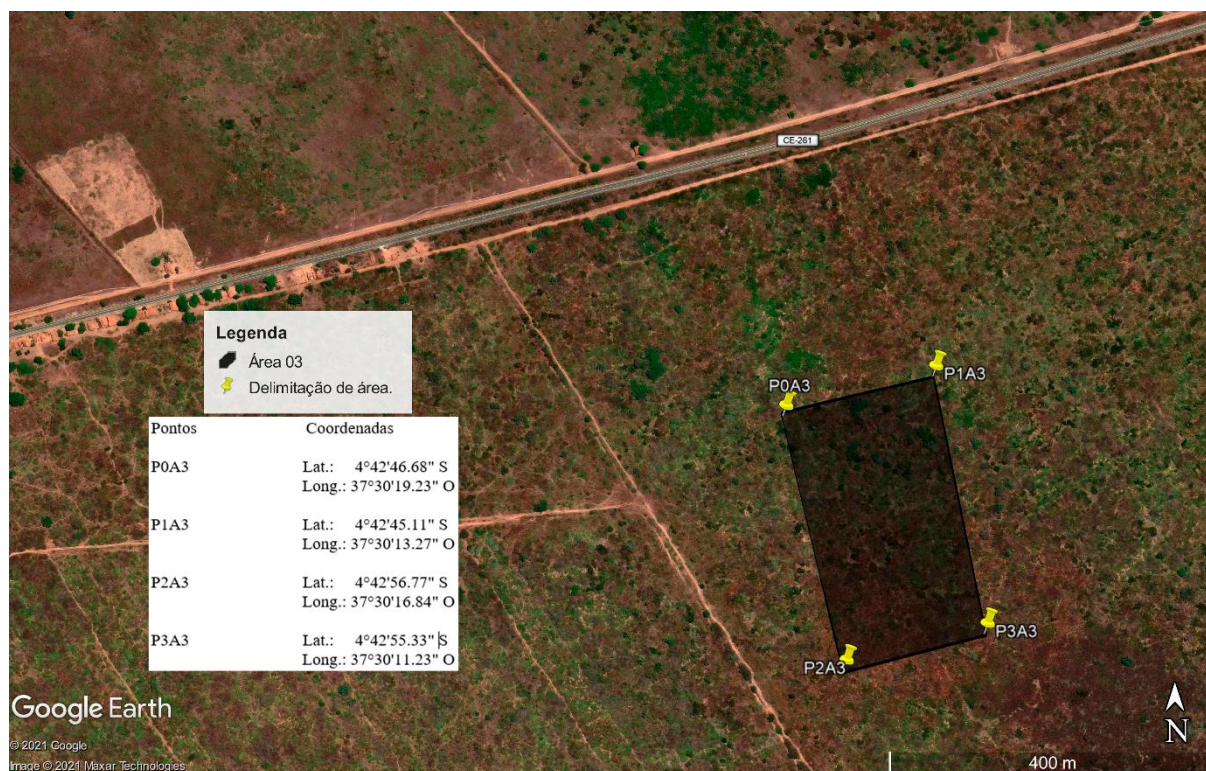
Figura 8 – Localização geográfica da Área 2.



Fonte: Adaptado pelo autor (GOOGLE EARTH PRO, 2021).

Já a Área 3 possui coordenadas geográficas de 4°42'51,14" de latitude Sul, e 37°30'15,12" de longitude Oeste, com altitude de 82 metros acima do nível médio do mar, nas proximidades da rodovia estadual CE – 261, já no limite municipal do município de Icapuí-CE com o município de Aracati-CE, como pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9 – Localização geográfica da Área 3.



Fonte: Adaptado pelo autor (GOOGLE EARTH PRO, 2021).

5.2.2 Critérios para seleção da área mais apta para implantação do aterro sanitário

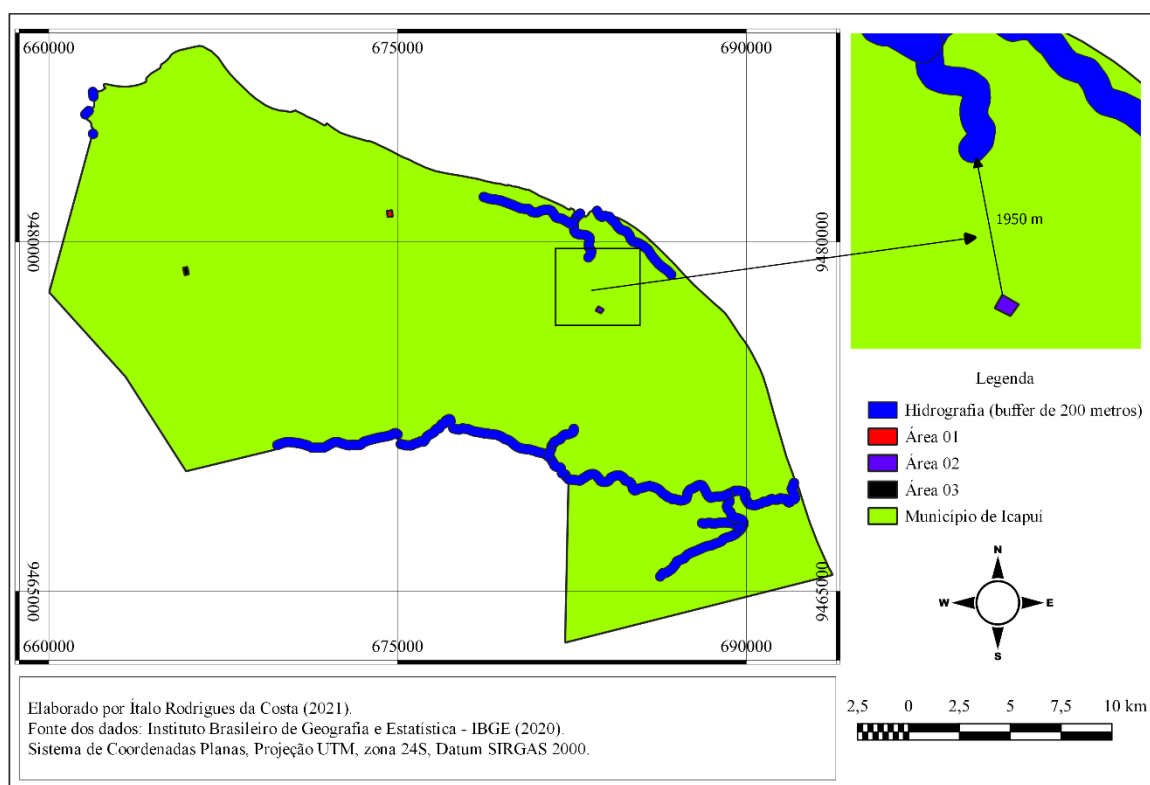
A seguir estão apresentados os critérios estabelecidos para seleção da melhor área, elencando a mais apta, para implantação do aterro sanitário no município de Icapuí-CE.

a) Proximidades a curso d'água relevantes

A área selecionada para implantação do aterro sanitário deve estar a uma distância mínima de 200 metros de corpos hídricos relevantes, com intuito de evitar a contaminação dos recursos hídricos localizados no entorno da área. A distância da rede hidrográfica foi delimitada aplicando a ferramenta *buffer* do *software* QGIS, para delimitar uma área de influência de 200 metros.

Por meio da Figura 10, a partir da aplicação da ferramenta *buffer* dos *Qgis*, foi possível identificar que as 3 áreas pré-selecionadas estão de acordo com a distância mínima entre o aterro sanitário e os cursos d'água.

Figura 10 – Mapa temático dos cursos d'água do município de Icapuí-CE, com a área de amortecimento de 200m de entorno



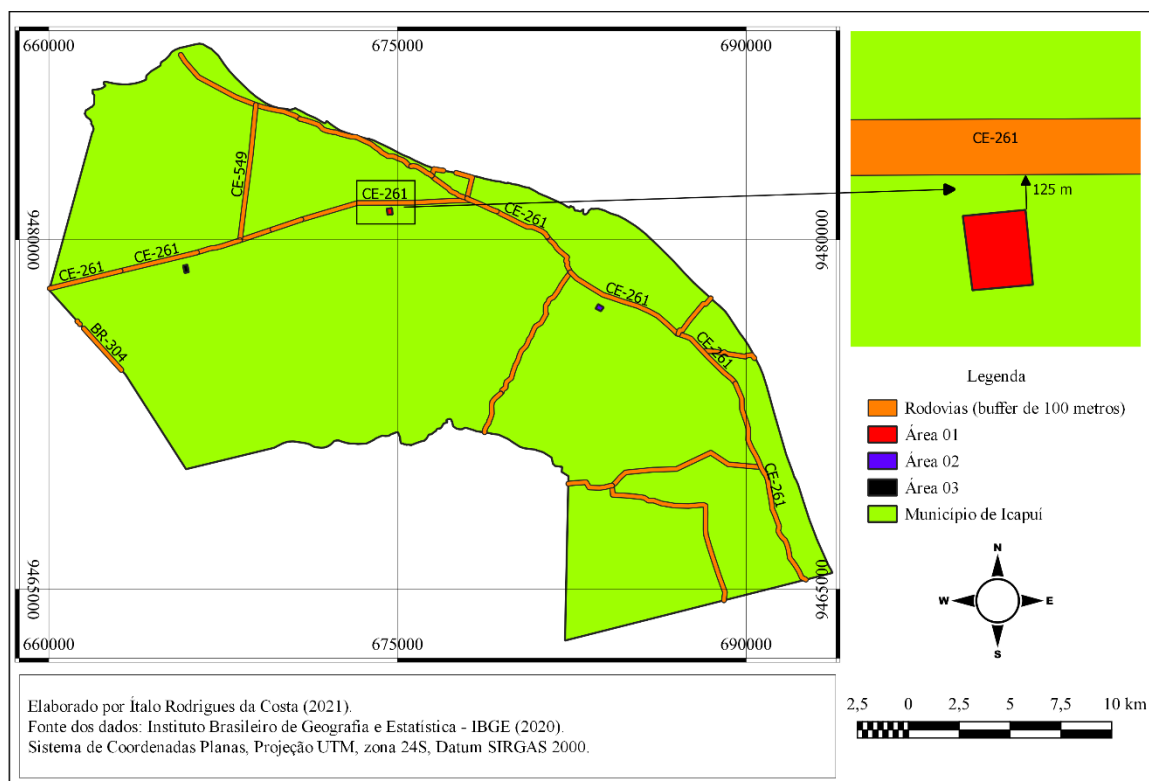
Fonte: Autoria própria (2021).

b) Distância de rodovias

A distância de rodovias é um parâmetro que visa reduzir os impactos ambientais como ruídos, odor, impacto visual do aterro, ao mesmo tempo busca uma distância razoável que possa diminuir custos de transporte dos resíduos. A ReCESA (2008) estabelece que a área do aterro sanitário deva estar distanciada de rodovias no mínimo a 100 metros. Para tanto, neste estudo não foram analisadas as estradas vicinais.

Para garantir o atendimento deste critério foi aplicado o *buffer* de 100 metros no *software* QGIS para as rodovias que cortam o município em questão, como mostrado na Figura 11. A Área 1, Área 2 e Área 3 possui uma distância de, respectivamente, 224, 404 e 318 metros da rodovia, sendo assim todas as três áreas atenderam a esse critério.

Figura 11 – Mapa temático de rodovias do município de Icapuí-CE, a área de amortecimento de 100m de entorno



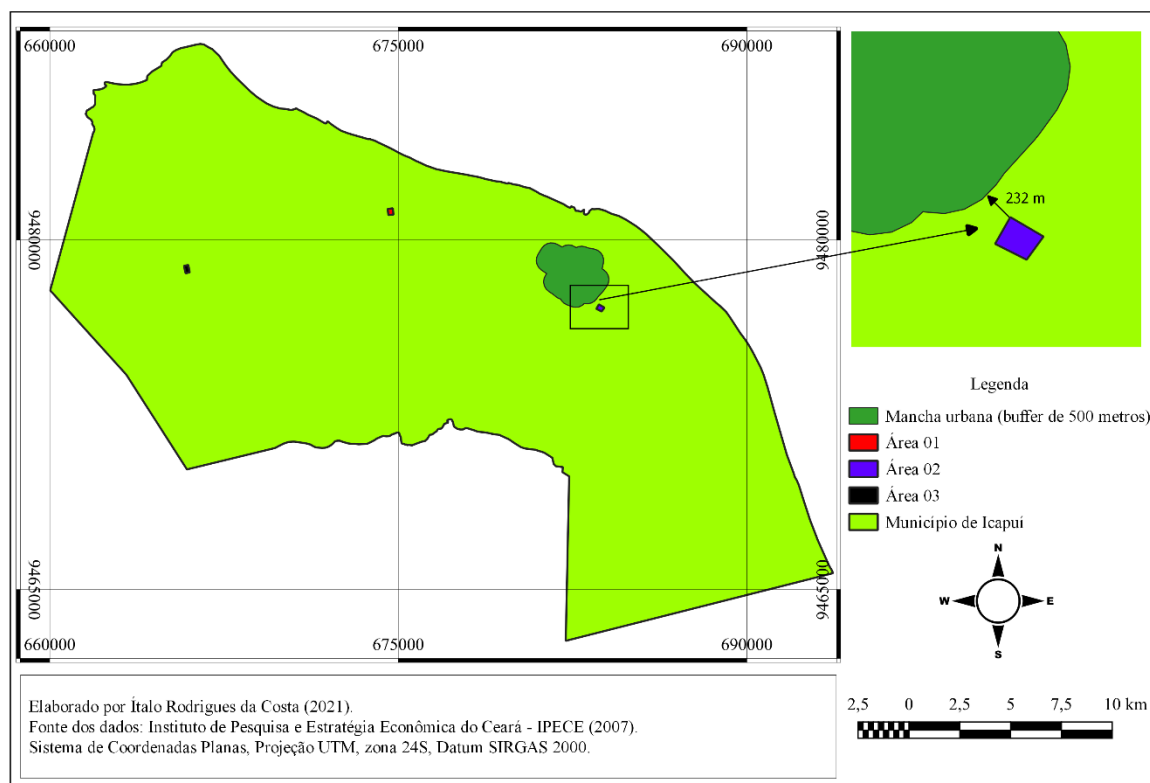
Fonte: Autoria própria (2021).

c) Proximidades a núcleos residenciais urbanos

Os aterros sanitários devem se localizar a mais de 500 metros dos núcleos populacionais, devido ao fato da rejeição da população em residirem próximo a um aterro, além de outros agravantes como possíveis odores, ruídos, poeira, entre outros. Diante disso, foi aplicada a ferramenta *buffer* do *software* QGIS de 500 metros para delimitar a distância dos núcleos populacionais urbanos às áreas avaliadas.

De acordo com a Figura 12, a Área 2 é a que está mais próxima da mancha urbana com distância de 232 metros do limite da mancha urbana (totalizando 732 metros de distância da mancha urbana). Para as demais áreas, Áreas 1 e 3, suas distâncias da mancha urbana são, respectivamente, 7,13 e 15,5 quilômetros.

Figura 12 – Mapa temático da mancha urbana do município de Icapuí-CE, com a área de amortecimento de 500m de entorno



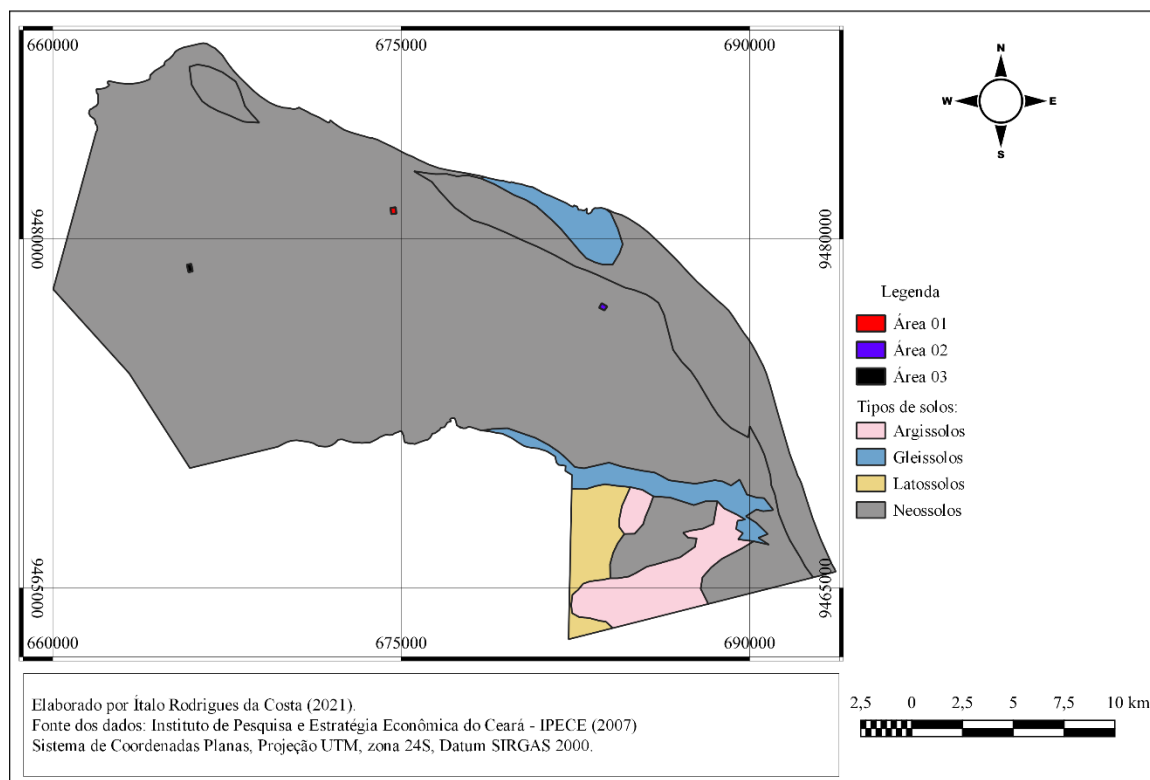
Fonte: Autoria própria (2021).

d) Permeabilidade do solo natural

A permeabilidade natural do solo é um aspecto muito importante, haja vista que a depender da permeabilidade, pode-se evitar possível contaminação do lençol freático. De acordo com Monteiro et al. (2001), a área para implantação de um aterro sanitário deve apresentar característica argilosa (solo mais impermeável, de difícil drenagem) e não podendo ser arenosa.

De acordo com a Figura 13, o solo predominante no município de Icapuí-CE é o neossolos. Todas as áreas selecionadas possuem esse tipo de solo. Os neossolos compreendem solos minerais pouco evoluídos e rasos, com elevado risco de contaminação dos mananciais. Portanto, deve-se ter uma atenção quanto a impermeabilização do aterro sanitário devido ao solo apresentar elevada permeabilidade, podendo favorecer ao processo de lixiviação ou percolação em casos de vazamento das células, resultando na contaminação do solo e das águas subterrâneas.

Figura 13 – Mapa temático dos tipos de solos do município de Icapuí-CE.



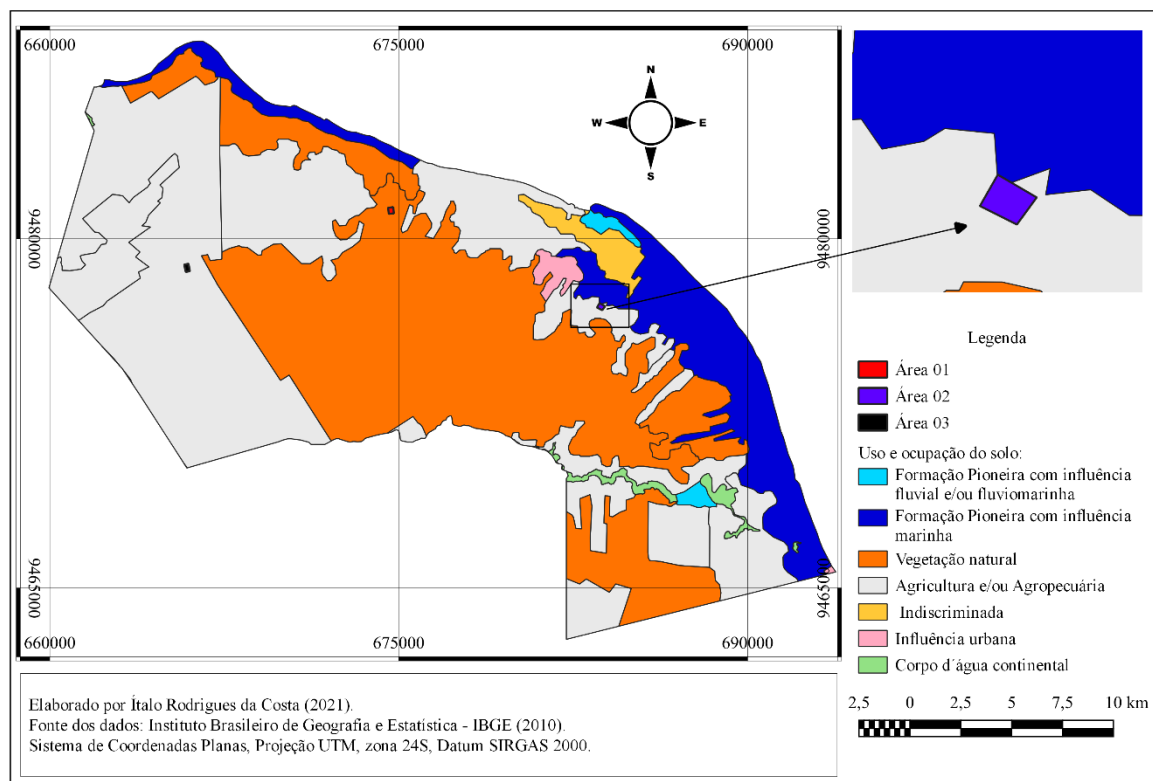
Fonte: Autoria própria (2021).

e) Uso e ocupação do solo

A área selecionada deve ser fora de Unidade de Conservação Ambiental, mas pode localizar-se numa região onde há uso rural ou industrial.

Na Figura 14 estão demonstradas as proporções de uso e ocupação do solo no município de Icapuí-CE e a localização das Áreas 1, 2 e 3.

Figura 14 – Mapa temático do uso e ocupação do solo do município de Icapuí-CE.



Fonte: Autoria própria (2021_).

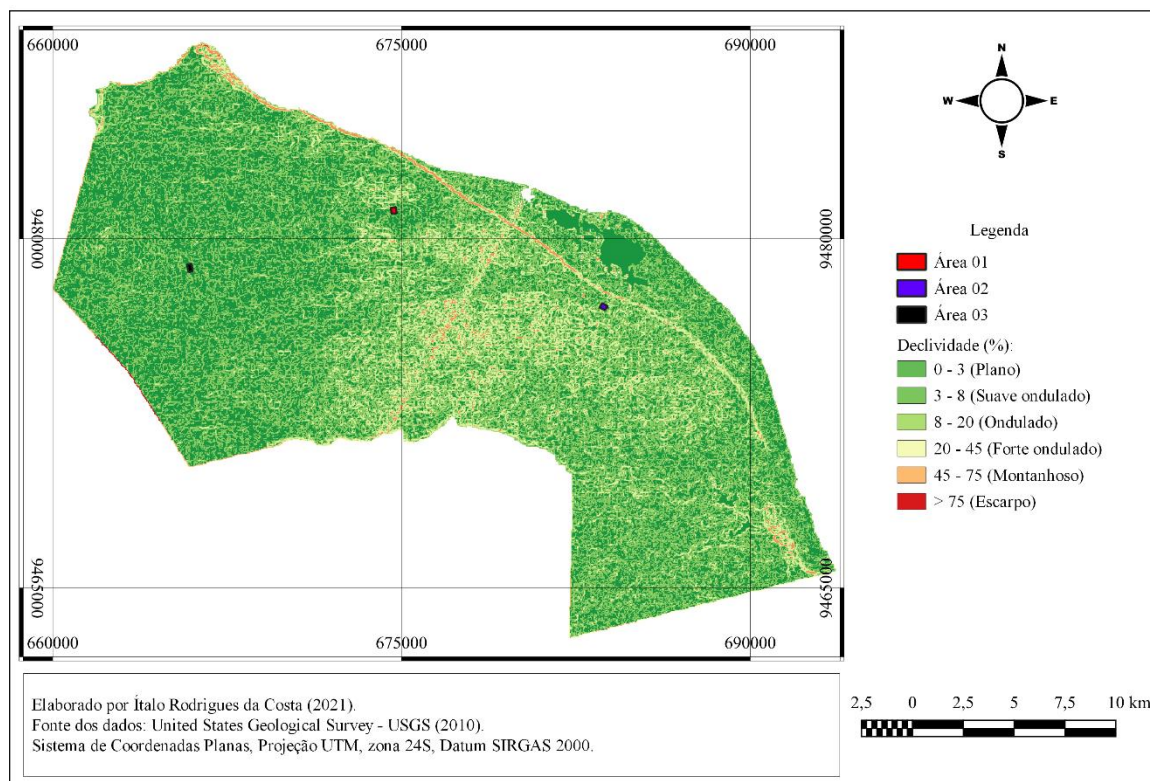
Partindo deste pressuposto, a Área 1 encontra-se sobre a vegetação natural do município, dentro da zona rural. Já a Área 2 está situada sobre a formação pioneira com influência marinha, considerada uma Unidade de Conservação, caracterizado como área de Área de Proteção Ambiental – APA, inviabilizando a construção nessa área devido ao risco de contaminação que o aterro sanitário apresenta. A Área 3 está localizada em áreas de agricultura e/ou agropecuárias. Logo, as Áreas 1 e 3 estão fora de Unidade de Conservação Ambiental e localizam-se em área rural e são consideradas aptas para instalar um aterro sanitário.

f) Declividade

A declividade representa a inclinação do terreno, a partir da qual é possível definir o tipo de aterro sanitário a ser instalado. Áreas com grandes declives são propensas à erosão do solo, mas contribui com o aumento do escoamento superficial das águas, além da percolação do chorume.

Na Figura 15 observa-se o mapa de declividade do município de Icapuí e a localização das Áreas 1, 2 e 3.

Figura 15 – Mapa temático da declividade do município de Icapuí-CE.



Fonte: Autoria própria (2021).

Todas as áreas selecionadas situam-se nas áreas cuja declividade está entre 0 e 20%, desde plano até ondulado, que é menor que os 30% de declividade recomendado pela NBR 13.896 (ABNT, 1997).

g) Custos de investimento em construção e infraestrutura

É viável que a área para se instalar um aterro sanitário deva possuir infraestrutura completa para reduzir os gastos de investimento. Nas Áreas 1, 2 e 3 não possui nenhuma infraestrutura, logo o custo de investimento nas três áreas serão semelhantes, pois nenhuma das áreas possuem infraestrutura.

h) Custos com manutenção do sistema de drenagem

Como as áreas quase não apresentam variação de nível e declividade, os gastos com a manutenção do sistema de drenagem tendem a ser baixos, e considerando que as chances de ocorrência de erosão nesta área são poucas (o que não descarta essa possibilidade), este critério é, portanto, atendido parcialmente.

i) Distância de núcleos urbanos de baixa renda

É recomendável que o aterro sanitário esteja distanciado de núcleos urbanos de baixa renda para evitar que algumas pessoas busquem a catação de resíduos sólidos recicláveis ou reutilizáveis. As três áreas previamente selecionadas não terão este problema, pois estão distanciadas das áreas urbanas, aproximadamente 4.000 metros (4,0 km), exceto a Área 2 que possui uma distância de 732 metros do centro urbano, atendendo, portanto, a este critério.

j) Vida útil mínima do aterro sanitário

De acordo com a NBR 13.896 (ABNT, 1997), o aterro sanitário deve possuir vida útil mínima de 10 anos. Para atendimento deste critério adotou-se neste estudo, uma vida útil de 20 anos para o aterro. Com intuito de prolongar a vida útil do aterro sanitário, buscou-se realizar a inserção de programas de intervenção de reciclagem e/ou compostagem.

Os programas de intervenção de reciclagem e/ou compostagem são fundamentais para garantir/prolongar a vida útil do aterro sanitário, que por sua vez, devem ser adotados dentro do município de Icapuí.

k) Legislação municipal

Recomenda-se que o município disponha de legislação que oriente e auxilie na questão do gerenciamento dos resíduos sólidos, especialmente sua disposição ambientalmente adequada. Desse modo, a Lei Orgânica do Município de Icapuí é a lei maior do município que reafirma os preceitos fundamentais existentes, organizando o poder local devendo ter conteúdo aberto e respeitar a Constituição Federal e a Constituição Estadual.

Para regulamentar a construção de depósitos de resíduos sólidos (aterros sanitários), a Lei Orgânica do Município de Icapuí determina que o Poder Executivo só permitirá a construção de depósitos de resíduos sólidos a duzentos metros de áreas habitadas ou destinadas à habitação, sendo vedadas as atividades que possam causar danos aos mananciais de água e/ou a poluição dos aquíferos e trás, consigo, as Áreas de Proteção Permanente (APP's), as quais são: os manguezais; nascentes dos rios; as áreas que abriguem exemplares raros da fauna e da flora, como aquelas que sirvam em local de pouso ou reprodução de espécies migratórias, e as paisagens notáveis (ICAPUÍ, 1990).

l) Ponderação das áreas frente aos critérios analisados

Após avaliar as três áreas previamente selecionadas, de acordo com os critérios estabelecidos e analisados, definiu-se o atendimento para cada área, conforme pode ser observado no Quadro 5.

Quadro 5 – Avaliação ao atendimento das áreas previamente selecionadas para implementação do aterro sanitário no município de Icapuí-CE.

Critérios	Prioridade	Atendimento		
		ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3
Proximidade a cursos d'água relevantes.	1	T	T	T
Distância de vias.	4	T	T	T
Proximidade a núcleos residenciais urbanos.	1	T	T	T
Vida útil mínima.	4	T	T	T
Permeabilidade natural do solo.	4	P	P	P
Uso do solo.	4	P	NA	T
Declividade.	4	T	T	T
Custo de investimento em construção e infraestrutura.	3	NA	NA	NA
Custo com manutenção do sistema de drenagem.	5	P	P	P
Distância de núcleos urbanos de baixa renda.	2	T	T	T
Legislação municipal.	1	P	P	P

Nota: T: atende totalmente; P: atende parcialmente; NA: não atende.

Fonte: Adaptado pelo autor (MONTEIRO et al., 2001).

Após avaliar o atendimento aos critérios em cada área, foram aplicados os pesos às áreas selecionadas para auxiliar na escolha da melhor área. A pontuação das áreas pode ser visualizada por meio do Quadro 6, que a partir da ponderação das áreas obtida notou-se que estas apresentaram características similares, no entanto, observou-se que a Área 3 se sobressai sobre as demais, sendo esta a mais indicada como apta para implantação do aterro sanitário no município de Icapuí-CE

Aliada a escolha da área mais apta para implementação de um aterro sanitário, verifica-se que é indispensável uma gestão adequada dos resíduos sólidos, principalmente os urbanos,

em atendimento a legislação vigente, e para evitar e/ou mitigar a deterioração da qualidade ambiental, de modo a garantir sua conservação, observando critérios ambientais, sociais e econômicos.

A disposição final dos resíduos sólidos em aterro sanitário, está longe de ser a solução ideal, contudo, ainda é a opção mais viável e ambientalmente adequada para a maioria dos municípios brasileiros, visto que muitos destes ainda dispõem seus resíduos inadequadamente em lixões.

Quadro 6 – Ponderação para seleção das potenciais áreas para implantação de aterro sanitário em Icapuí-CE.

Critérios	Pontuação Das Prioridades	Pontuação Atendimento			Pontuação Das Áreas		
		ÁREA 1 (%)	ÁREA 2 (%)	ÁREA 3 (%)	ÁREA 1 (%)	ÁREA 2 (%)	ÁREA 3 (%)
Proximidade a cursos d'água relevantes.	10	100	100	100	10	10	10
Distância de vias.	3	100	100	100	3	3	3
Proximidade a núcleos residenciais urbanos.	10	100	100	100	10	10	10
Vida útil mínima.	3	100	100	100	3	3	3
Permeabilidade natural do solo.	3	50	50	50	1,5	1,5	1,5
Uso do solo.	3	50	0	100	1,5	0	3
Declividade.	3	100	100	100	3	3	3
Custo de investimento em construção e infraestrutura.	4	0	0	0	0	0	0
Custo com manutenção do sistema de drenagem.	2	50	50	50	1	1	1
Distância de núcleos urbanos de baixa renda.	6	100	100	100	6	6	6
Legislação municipal.	10	50	50	50	5	5	5
Pontuação Total					44	42,5	45,5

Fonte: Adaptado pelo autor (MONTEIRO et al., 2001).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para implantação do aterro sanitário no município de Icapuí-CE foi dimensionado uma área mínima necessária de 47.975 km², a qual representa aproximadamente 4,8 hectares. O volume necessário para atender as demandas da população, em uma perspectiva de 20 anos, é de 110.711 m³.

De forma preliminar, mediante a realização de algumas considerações com base em argumentos técnicos e legais, verificou-se que no município de Icapuí-CE a Área 3 é mais indicada para implantação do aterro sanitário dentre as três áreas avaliadas. Tal cenário foi evidenciado por meio da análise dos critérios predefinidos, mesmo não atendendo integralmente os critérios e restrições técnicas e legais.

Na Área 3, mesmo sendo considerada a mais apta frente às demais, é indispensável estudos geológicos e geotécnicos mais detalhados, assim como estudos de impactos ambientais e, além disso, análise de custos e viabilidade econômica para implantação do aterro sanitário no município em estudo, devendo ser considerado obrigatoriamente a adoção de geomanta têxtil para contenção e impermeabilização do lixiviado das células.

A utilização das ferramentas de geoprocessamento e do *software* SIG QGIS demonstraram serem importantes ferramentas na seleção de prováveis áreas para instalação do aterro sanitário, auxiliando na espacialização e análise de critérios o que possibilitou a seleção preliminar da Área 3.

A metodologia empregada poderá ser utilizada como subsídio a tomada de decisão pela gestão pública municipal para futura adoção de potenciais áreas com dispositivos de aterros sanitários, uma vez que as áreas mais aptas para implantação de um aterro sanitário devem ser apontadas considerando alguns fatores ambientais, políticos, sociais e econômicos.

REFERÊNCIAS

ALBERTIN, R.M.; MORAES, E.; ANGELIS NETO, G.; ANGELIS, B.L.D.; CORVELONI, E.; SILVA, F.F. (2010) **Diagnóstico da gestão dos resíduos sólidos urbanos do município de Flórida Paraná**. Revista Agro@mbiente On-line, v. 4, n. 2, p. 118-125. jul-dez, 2010. Disponível em: <<https://revista.ufr.br/agroambiente/article/view/378/302>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

ALBUQUERQUE, P. C. G.; SANTOS, C. C. dos. **GPS para iniciantes**. Minicurso XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento - Belo Horizonte. São José dos Campos: SP, INPE, 2003. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2003/06.02.09.16/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

ALMEIDA, S. N. R. **Aplicação de geoprocessamento na identificação de áreas para implantação de aterro sanitário no município de Pombal - PB**. Pombal, PB: UFCG, 2016, 88 p. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/851/1/SIMONE%20N%c3%93BREGA%20RIBEIRO%20ALMEIDA%20%20DISSERTA%c3%87%c3%83O%20PPGSA%20PROFISSIONAL%202016..pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

ANTUNES, P. B. **Direito Ambiental**. 12ª Edição. Ed. Lumen Juris. São Paulo, 2011.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2020**. São Paulo. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8.419**. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a, 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004**. Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b, 77p. Disponível em: <<https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

_____. **NBR 10.005. Lixiviação de resíduos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004c. 10p.

_____. **NBR 10.006. Solubilização de resíduos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004d. 2p.

_____. **NBR 10.007. Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004e. 21p.

_____. **NBR 7.500 Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 47p.

_____. **NBR 11.174 Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III – inertes**. Rio de Janeiro: ABNT, 1990. 7p.

_____. **NBR 13.221 Transporte terrestre de Resíduos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 4p.

_____. ABNT. NBR 13.896/1997. **Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 1997. 12p.

BELI, E.; NALDONI, C. E. P.; OLIVEIRA, A. C.; SALES, M. R.; SIQUEIRA, M. S. M.; MADEIROS, G. A. De.; HUSSAR, G. J. **Recuperação da área degradada pelo lixo Areia Branca de Espírito Santo do Pinhal – SP**. Espírito Santo do Pinhal, v. 2, n. 1, p. 135-148, jan/dez 2005.

BERNARDI, A. C. C. NAIME, J. M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília – DF: Embrapa, 2014. Disponível em: <
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1003275/1/2014cpamtlucianoshiratsushisensoriamentoremotoconceitosbasicosaplicacoesagriculturaprecisao.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

BORTOLATTO, G. R.; Ahlert, S. **Geotecnologias para a escolha de um local para possível construção de um aterro sanitário em Bento Gonçalves, RS**. 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. Bento Gonçalves – RS, 2012. Disponível em: <
https://www.researchgate.net/publication/276059163_Geotecnologias_para_a_escolha_de_um_local_para_posivel_construcao_de_um_aterro_sanitario_em_Bento_Goncalves_RS>. Acesso em: 10 mar. 2021.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L. de; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental – o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318p.

BRASIL. Presidência da República. Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 02 de agosto de 2010a.

_____. **Resolução nº 308, de 21 de março de 2002**. Licenciamento Ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte. In: BRASIL. MMA. CONAMA. Resoluções do CONAMA. Brasília: MMA-Secretaria Executiva - CONAMA, 2012. p.725. Disponível em: <
<http://protegeer.gov.br/images/documents/34/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20CONAMA%20N%C2%BA%20308.2002.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

_____. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. In: BRASIL. MMA. CONAMA. Resoluções do CONAMA. Brasília: MMA-Secretaria Executiva - CONAMA, 2012. p.725. Disponível em: <
<http://protegeer.gov.br/images/documents/34/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20CONAMA%20N%C2%BA%20308.2002.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

_____. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. **Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências.** Brasília, DF, 2010b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2010/decreto/d7404.htm>. Acesso em: 10 mar. 2021.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à Ciência da Geoinformação.** 2.ed.rev. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

CÂMARA, G; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Geoprocessamento: Teoria e Aplicações.** São José dos Campos: INPE, 2007.

CARVALHO, E. A. de.; ARAÚJO, P. C. de. **Noções básicas de sistema de posicionamento global GPS.** Aula 08 da Disciplina: Leituras cartográficas e interpretações estatísticas II. Natal, RN: EDUFRN, 2009. Disponível em: <http://www.ead.uepb.edu.br/arquivos/cursos/Geografia_PAR_UAB/Fasciculos%20%20Material/Leituras_Cartograficas_II/Le_Ca_II_A08_MZ_GR_260809.pdf>. Acesso em 17 mar. 2021.

CATAPRETA, C. A. A.; SIMÕES, G. F.; BARROS, R. T. V. **Avaliação da densidade de resíduos sólidos urbanos dispostos em um aterro experimental.** 8 f. Belo Horizonte - MG, 2004. Disponível em: <<https://cutt.ly/fb2F6Yb>>. Acesso em: 17 mar. de 2021.

CELERE, M. S.; OLIVEIRA, A. da S.; TREVILATO, T. M. B.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 939-947, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2007000400021>. Acesso em: 16 mar. 2021.

COUTO, L. C. O. **Geoprocessamento: Conceito e Prática.** 2009. Adaptado do Trabalho de Conclusão de Curso da especialização em Geoprocessamento do Centro Universitário de Belo Horizonte – UNI-BH (2009). Disponível em:<<http://www.passeidireto.com/arquivo/2045138/geoprocessamento-e-aplicacoes>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

DUCATTI, A. **Análise da fragmentação florestal da bacia hidrográfica do rio Forqueta entre os anos de 1989 e 2008 e simulação dinâmica da paisagem para 2018.** 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2010. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/121/1/AlexandreDucatti.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Orientações básicas para operação de aterro sanitário.** Belo Horizonte: FEAM, 2006. 36p.

FÉRIS, L. A.; TARTARI, L. C. **Avaliação do Processo de Tratamento do Chorume do Aterro Sanitário de Novo Hamburgo**. Revista de Divulgação de Ciência e Tecnologia, Novo Hamburgo, v.6, p.66-74, 2005.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. 2005. Disponível em: <https://www.clickgeo.com.br/wp-content/uploads/2013/04/conceitos_sm.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021.

FONSECA, M. F. **Geotecnologias aplicadas ao diagnóstico do uso da terra no entorno do Reservatório de Salto Grande, município de Americana (SP), como subsídio ao planejamento territorial**. Campinas, UNICAMP, 2008. 82 p. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/286898/1/Fonseca_MarceloFernando_M.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2021.

FRÉSKA, F. R. C. **Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares do município de São Carlos, SP, a partir da caracterização física**. 2007. 134 f. Dissertação de Mestrado (Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo – USP. São Carlos – SP, 2007.

GOMES, L. P.; COELHO, O.; ERBA, D.; VERONEZ, M. Critérios de seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos. In: ANDREOLI, C. (Org.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. São Carlos: RiMa, 2001. p. 145-164.

GOOGLE EARTH PRO. **Google Maps**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 30 abril 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

_____. **IBGE Cidades – Icapuí – CE**. IBGE, 2021a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/icapui/panorama>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

_____. **IBGE Estados – Ceará**. IBGE, 2021b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/panorama>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

_____. **IBGE – Estimativas da População**. IBGE, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

_____. **IBGE – Estimativas da População**. IBGE, 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

_____. **IBGE – Estimativas da População**. IBGE, 2021c. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

ICAPUÍ. **Lei Orgânica do Município de Icapuí**. Icapuí (CE): Câmara Municipal, 1990.

IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Ceará Mapas.** Ceará: IPECE, 2007. Disponível em: <<http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/ogc/index.php>>. Acesso em: 31 mar. 2021.

LA OUTRA OPINIÓN. **Teledetección: satélites, historia, características y usos.** 2018. Disponível em: <<http://laotraopinion.net/tecnologia/teledeteccion/>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

LIMA, Djenane Regina Maia De. **Análise dos Sistemas geoambientais do município de Icapuí – Ce a partir de geotecnologias.** Fortaleza, CE: UFC, 2017, 78 p. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/32138/3/2017_dis_drmdelima.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2021.

LOPES, Mariana Dantas. **Identificação de áreas potenciais para implantação de aterro sanitário no distrito de floresta do sul em Presidente Prudente/SP.** Presidente Prudente, SP: UNESP, 2011, 102 p. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/119685/lopes_md_tcc_prud.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 mar. 2021.

LUCENA, Luciana de Figueirêdo Lopes. **Análise do custo-benefício da reciclagem dos resíduos sólidos urbanos no Recife e Jaboatão dos Guararapes.** 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/3881/1/arquivo5887_1.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2021.

MARQUES, M. D. **Seleção de área para implantação de aterro sanitário simplificado: Estudo de caso para o município de Guapó – GO.** 2011. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Universidade Federal de Goiás. Goiana – GO, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tde/621/1/Dissertacao%20Marilia%20Daher%20Marques.pdf>>. Acesso em: 07 abril 2021.

MATOS, A. T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos.** Viçosa, MG: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais, 2006, 125p. (Série Caderno Didático, n.37).

MEIRELES, A. J. de A.; SANTOS, A. M. F. dos. **Atlas de Icapuí.** 1. ed. Fortaleza, CE: Editora Fundação Brasil Cidadão, 2012. Disponível em: <https://www.deolhonaagua.org.br/wpcontent/uploads/De_Olho_Na_AguaAtlas_de_Icapui.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2021.

MELO, A. de A.; MENEZES, P. M. L. de; SAMPAIO, A. C. F. **O uso de SIG na pesquisa geográfica voltada para o ensino e a aprendizagem.** Caminhos de Geografia, Uberlândia. V. 10, n. 17, p. 97-116 fev. 2006. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/15275/8576/>>. Acesso em: 17 de mar. de 2021.

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. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2001. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2021

MOURA, A.C.M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 2º Ed. Belo Horizonte: Ed. da autora, 2005.

NASCIMENTO, Victor Fernandez. **Proposta para indicação de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Bauru-SP, utilizando análise multicritério de decisão e técnicas de geoprocessamento**. Bauru, SP: UNESP, 2012, 228 p. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/92957/nascimento_vf_me_bauru.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 mar. 2021.

NOÉ, J. R. **Avaliação da área do lixão para instalação de aterro sanitário consorciado no município de Pombal - PB utilizando SIG livre**. 2013. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Pombal – PB, 2013.

NUNES, J. C. **Sistema de informações geográficas de apoio ao cadastro técnico multifinalitário, em ações de regularização fundiária, no município de Caaporã/PB**. 2007. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento) - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DA PARAÍBA– CEFET. João Pessoa – PB, 2007.

PIROLI, E.L. **Introdução ao Geoprocessamento**. Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos, 2010. 46 p. Disponível em: <http://vampira.ourinhos.unesp.br:8080/cediap/material/livro_introducao_ao_geoprocessamento.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2021.

QGIS. **QGIS – A liderança do SIG de código aberto**. Disponível em: <https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html>. Acesso em: 17 mar. 2021.

REDE DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO AMBIENTAL. ReCESA. Esgotamento sanitário. **Operação e manutenção de sistemas simplificados de tratamento de esgotos: Guia do profissional em treinamento: nível 2 /** Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte - MG, 2008.

ROCHA, C. H. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2000. 220 p.

ROCHA, J. C.; ROSA, A.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 256p.

RUSSO, M.A.T. 2003. **Tratamento de Resíduos Sólidos**. 196 p. Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal. Disponível em: <http://www1.ci.uc.pt/mhidro/edicoes_antigas/Tratamentos_Residuos_Solidos.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2021.

SAMIZAVA, T. M.; KAIDA, R. H.; IMAI, N. N.; NUNES, J. O. R. **SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente – SP**. Revista Brasileira de Cartografia, São Paulo, v. 01. n. 60. 13 f. 2008. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44882/23892>>. Acesso em: 17 mar. de 2021.

SANTOS, Ana Maria Ferreira dos. **Geotecnologias para a gestão pública: uma aplicação em Icapuí/CE**. 2014. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Ceará. Disponível em: < <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/20236>>. Acesso em: 22 mar. 2021.

SILVA, R. F. S. Da; SOARES, M. L. **Gestão dos resíduos sólidos de serviços de saúde com responsabilidade social**. VII SEMEAD, Cascavel, 14 f. 2004. Disponível em: < http://sistema.semead.com.br/7semead/paginas/artigos%20recebidos/Socioambiental/SA25_Gest%EDduos_solidos.PDF>. Acesso em: 17 mar. de 2021.

TRINDADE, F. S. **O uso dos softwares livres de SIG como ferramenta de apoio ao ensino de Geografia no nível fundamental: Um estudo de caso a partir da elaboração de um mapa temático sobre Áreas de Risco através do software “TerraView”**. 2012. 38 p. Monografia (Graduação em Bacharel em Geografia) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG, 2012. Disponível em: <<http://www.geo.ufv.br/wp-content/uploads/2013/05/Filipe-Silveira-Trindade.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Earth Explorer**. USGS, 2021. Disponível em: < <https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 31 mar. 2021.

APÊNDICE A

Tabela I – Projeção populacional para o município de Icapuí-CE.

Ano	População (hab)
2021	20.187
2022	20.315
2023	20.444
2024	20.574
2025	20.705
2026	20.836
2027	20.968
2028	21.101
2029	21.235
2030	21.370
2031	21.506
2032	21.642
2033	21.779
2034	21.917
2035	22.056
2036	22.196
2037	22.337
2038	22.479
2039	22.622
2040	22.765

Fonte: Elaboração própria (2021).

APÊNDICE B

Tabela II – Estimativa da geração e volumes (acumulado e total) de resíduos sólidos urbanos (RSU) do município de Icapuí-CE.

Ano	População (hab)	Geração per capita (kg hab ⁻¹ dia ⁻¹)	Cobertura de Coleta (%)	Massa (ton dia ⁻¹)	Volume de resíduos compactados		
					Volume (m ³ dia ⁻¹)	Volume anual (m ³ ano ⁻¹)	Acumulado (m ³)
2021	20.187	0,5	80	8,075	10,094	3684	3.684
2022	20.315	0,5	80	8,126	10,158	3707	7.392
2023	20.444	0,5	80	8,178	10,222	3731	11.123
2024	20.574	0,5	80	8,230	10,287	3755	14.877
2025	20.705	0,5	80	8,282	10,353	3779	18.656
2026	20.836	0,5	80	8,334	10,418	3803	22.459
2027	20.968	0,5	100	10,484	13,105	4783	27.242
2028	21.101	0,5	100	10,551	13,188	4814	32.056
2029	21.235	0,5	100	10,618	13,272	4844	36.900
2030	21.370	0,5	100	10,685	13,356	4875	41.775
2031	21.506	0,5	100	10,753	13,441	4906	46.681
2032	21.642	0,5	100	10,821	13,526	4937	51.618
2033	21.779	0,5	100	10,890	13,612	4968	56.586
2034	21.917	0,5	100	10,959	13,698	5000	61.586
2035	22.056	0,5	100	11,028	13,785	5032	66.618
2036	22.196	0,5	100	11,098	13,873	5063	71.681
2037	22.337	0,5	100	11,169	13,961	5096	76.777
2038	22.479	0,5	100	11,240	14,049	5128	81.905
2039	22.622	0,5	100	11,311	14,139	5161	87.065
2040	22.765	0,5	100	11,383	14,228	5193	92.259
Volume total dos resíduos compactados acumulados							92.259
Volume material de cobertura (20 % do volume total acumulado)							18.452
Volume total do aterro							110.711

Fonte: Elaboração própria (2021).