



JÚLIA CATARINA CARDOSO PIRES

**USO DE GEOTECNOLOGIAS NA SELEÇÃO DE ATERRO
SANITÁRIO: O CASO DO MUNICÍPIO DE CAMPO BELO, MG**

**LAVRAS - MG
2023**

JÚLIA CATARINA CARDOSO PIRES

**USO DE GEOTECNOLOGIAS NA SELEÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO: UM CASO
NO MUNICÍPIO DE CAMPO BELO, MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Luís Antônio Coimbra Borges
Orientador

**LAVRAS - MG
2023**

JÚLIA CATARINA CARDOSO PIRES

**USO DE GEOTECNOLOGIAS NA SELEÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO: UM CASO
NO MUNICÍPIO DE CAMPO BELO, MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 19 de julho de 2023
Dr. Luís Antônio Coimbra Borges – UFLA
Me. Luís Antônio Fonseca Teixeira – UFLA
Rafaela Ribeiro dos Santos – UFLA

Prof. Dr. Luís Antônio Coimbra Borges
Orientador

**LAVRAS - MG
2023**

*Dedico, com amor e carinho, aos meus queridos avós, Alice e José (In Memoriam).
Seus ensinamentos continuam vivos em meu coração, sou grata por todo amor e sabedoria
que me proporcionaram ao longo da vida.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a conclusão deste trabalho e para que eu conseguisse alcançar esse momento tão importante. Sem o apoio e o incentivo de cada um de vocês, esta conquista não seria possível.

Aos meus amados pais, Andreia e Wesley, que estiveram sempre ao meu lado, me apoiando em todos os momentos da minha vida. Vocês são minha fonte de inspiração e minha base. Agradeço por todo o amor, paciência e suporte.

Ao meu querido irmão Junior e minha cunhada Natália, que estiveram presentes, me compreendendo e motivando durante o percurso, principalmente no final.

Ao meu amado parceiro de vida, Natan, agradeço por ter te encontrado a mais de 600 quilômetros de nossas famílias, isso é destino. Obrigada estar ao meu lado, sempre muito paciente e amoroso, sendo meu porto seguro e minha paz. A vida é muito mais leve e gratificante contigo.

Ao meu professor e orientador, Luís Antônio Coimbra Borges, mais conhecido como Totonho, cuja sabedoria, experiência e orientação foram cruciais para a realização deste trabalho. Agradeço por ser um exemplo de professor e por compartilhar seus conhecimentos comigo. Sua orientação foi fundamental para o desenvolvimento deste estudo.

Aos outros professores memoráveis que tive na Universidade Federal de Lavras, em especial Paula Peixoto Assemany e Lucas Amaral de Melo, com vocês pude vivenciar um pouco da pesquisa acadêmica e seus ensinamentos impactaram minha trajetória como estudante.

Aos amigos que tive o prazer de encontrar em Lavras. Rafaela, Mariana e Vera, vocês sempre estiveram comigo, compartilhando momentos de alegria e de dificuldades. Agradeço por todo o apoio, incentivo e por tornarem essa jornada acadêmica mais memorável e divertida.

Ao Engenheiros Sem Fronteiras Núcleo Lavras, onde pude vivenciar experiências

maravilhosas e conhecer pessoas incríveis, além de contribuir com a sociedade. Meu muito obrigada.

À minha família como um todo, incluindo avós, tios e primos, por todo amor e motivação. Vocês são muito importantes para mim e parte de quem sou hoje.

Gostaria de enaltecer a educação pública e de qualidade que recebi na Universidade Federal de Lavras. Sou grata por todo o aprendizado, pelas experiências enriquecedoras.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha jornada acadêmica e para a conclusão deste trabalho, meu mais profundo agradecimento.

Com gratidão, Júlia Pires.

RESUMO

O aumento da geração de resíduos sólidos urbanos está diretamente relacionado ao crescimento populacional e ao desenvolvimento econômico, tornando-se uma questão urgente e desafiadora em escala global. O termo resíduos sólidos urbanos (RSU) refere-se aos materiais descartados nas áreas urbanas, provenientes de atividades domésticas, comerciais e industriais. A má gestão desses resíduos acarreta consequências negativas, como a proliferação de vetores, doenças e contaminação do solo, água e ar. A implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabeleceu diretrizes importantes para a gestão e o gerenciamento adequado dos resíduos. Uma das metas da PNRS foi a transição de lixões para aterros sanitários, o que contribuiu para o fechamento e recuperação das áreas designadas como lixões e, conseqüentemente, para o aumento dos aterros sanitários no Brasil. No entanto, a implantação de aterros sanitários enfrenta desafios, como o alto custo de implantação e a seleção de áreas adequadas. Para enfrentar esses desafios, é essencial buscar tecnologias que reduzam os custos e tornem a implantação de aterros sanitários mais viável para os municípios brasileiros. A seleção de áreas adequadas para a implantação de um aterro sanitário é uma etapa fundamental no processo de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, pois é necessário escolher locais que atendam a critérios técnicos, ambientais e socioeconômicos, garantindo a disposição adequada dos resíduos e a redução dos impactos negativos. As geotecnologias desempenham um papel importante auxiliando na seleção de áreas para a implantação de aterros sanitários. Neste trabalho, busca-se selecionar áreas propícias para a implantação de aterros sanitários no município de Campo Belo, em Minas Gerais, utilizando geotecnologias como ferramenta de análise dos dados geográficos, em conjunto com os critérios técnicos e ambientais de restrição estabelecidos. Através de cálculos de crescimento populacional, geração per capita, massa e volume dos resíduos sólidos urbanos, é determinada a área mínima necessária para a implantação do aterro sanitário em Campo Belo. A localização das áreas propícias é definida com base nos critérios locacionais estabelecidos, levando em consideração as normas e legislações vigentes. Para isso, foram utilizados dados cartográficos digitais, como camadas vetoriais e imagens de satélite disponibilizados por órgãos públicos. A elaboração e padronização dos mapas temáticos foram realizadas por meio de um sistema de informação geográfica (SIG), com o software QGIS. A sobreposição de todas as restrições foi analisada, resultando em mapas que identificam claramente as áreas adequadas e inadequadas para a implantação do aterro sanitário. Apesar de poucas áreas atenderem aos critérios avaliados, a utilização das geotecnologias demonstra eficiência e atinge o objetivo proposto de selecionar as áreas propícias para a implantação de aterros sanitários, levando em consideração as restrições dos critérios locacionais estabelecidos e a área mínima para sua implantação.

Palavras-chave: SIG. Sensoriamento Remoto. QGIS. Resíduos Sólidos Urbanos. Análise de dados.

ABSTRACT

The increase in the generation of municipal waste is directly related to population growth and economic development, making it an urgent and challenging issue on a global scale. The term municipal waste refers to materials discarded in urban areas, from domestic, commercial and industrial activities. Poor management of these residues has negative consequences, such as the proliferation of vectors, diseases and soil, water and air contamination. The implementation of the National Solid Waste Policy (PNRS) established important guidelines for proper waste management. One of the goals of the PNRS was the transition from dumps to sanitary landfills, which contributed to the closure and recovery of areas designated as dumps and, consequently, to the increase in landfills in Brazil. However, the implementation of landfills faces challenges, such as the high cost of implementation and the selection of suitable areas. To face these challenges, it is essential to seek technologies that reduce costs and make the implementation of landfills more viable for Brazilian municipalities. The selection of suitable areas for the implementation of a landfill is a fundamental step in the process of waste management, as it is necessary to choose locations that meet technical, environmental and socioeconomic criteria, guaranteeing the proper disposal of waste and the reduction of negative impacts. Geotechnologies play an important role in helping to select areas for the implementation of sanitary landfills. In this work, we seek to select suitable areas for the implementation of landfills in the city of Campo Belo, in Minas Gerais, using geotechnologies as a tool for analyzing spatial data, together with the established technical and environmental restriction criteria. Through calculations of population growth, per capita generation, mass and volume of solid waste, the minimum area required for the implementation of the sanitary landfill in Campo Belo is determined. The location of suitable areas is defined based on established locational criteria, considering the rules and legislation in force. For this, digital map data were used, such as vector layers and satellite images provided by public agencies. The preparation and standardization of thematic maps were accomplished through a geographic information system (GIS), with the QGIS software. The overlap of all restrictions was analyzed, resulting in maps that identify appropriate and inappropriate areas for the implementation of the landfill. Although few areas fulfill the evaluated criteria, the use of geotechnologies demonstrates efficiency and reaches the proposed objective of selecting suitable areas for the implementation of landfills, taking into account the restrictions of the established criteria and the minimum area for implementation.

Key-words: GIS. Remote sensing. QGIS. Solid waste. Analysis of data.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Disposição final adequada e inadequada em 2022	18
Figura 2 - Mapa de Localização do Município de Campo Belo.....	24
Figura 3 - Mapa de Declividade	37
Figura 4 - Mapa de Recursos Hídricos	38
Figura 5 - Mapa de Núcleos Populacionais e Rodovias.....	39
Figura 6 - Mapa de Área de Segurança Aeroportuária	40
Figura 7 - Mapa de Unidades de Conservação	41
Figura 8 - Mapa do Bioma Mata Atlântica	42
Figura 9 - Mapa de Terras Indígenas e Quilombolas.....	43
Figura 10 - Mapa de Restrições	44
Figura 11 - Mapa das áreas adequadas e inadequadas	45
Figura 12 - Mapa das Áreas Propícias	46
Figura 13 - Mapa das Áreas Propícias no Satélite	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - População de Campo Belo em 1996 e 2022	25
Tabela 2 - Geração de resíduos sólidos urbanos em Campo Belo.....	26
Tabela 3 - Projeção Populacional de Campo Belo para 20 anos	33
Tabela 4 - Geração per capita de Campo Belo para 20 anos.....	34
Tabela 5 - Resíduos sólidos urbanos coletados e a serem aterrados para 20 anos	34
Tabela 6 - Volume a ser aterrado e Volume de solo para 20 anos	35
Tabela 7 - Volumes obtidos e Área necessária para a implantação do aterro sanitário.....	36
Tabela 8 – Áreas Propícias e seus respectivos tamanhos.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critérios adotados.....	28
Quadro 2 - Banco de Dados Cartográficos Digitais	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Resíduos Sólidos	15
2.1.1	Classificação	16
2.1.2	Características Físicas	17
2.1.3	Disposição Final	18
2.2	Aterros Sanitários	19
2.3	Geotecnologias	20
2.3.1	Sistemas de Informações Geográficas (SIG)	20
2.3.2	Sensoriamento Remoto (SR)	21
2.4	Seleção das Áreas Propícias	22
3	METODOLOGIA	23
3.1	Caracterização da Área de Estudo	23
3.2	Definição da Área Mínima do Aterro Sanitário	24
3.2.1	Projeção Populacional	24
3.2.2	Geração per capita e massa dos resíduos	25
3.2.3	Volume de resíduos e área mínima necessária	27
3.3	Localização das áreas propícias para a implantação do aterro sanitário	28
3.3.1	Definição dos critérios locacionais	28
3.3.2	Construção do banco de dados cartográficos digitais	29
3.3.3	Elaboração e padronização dos mapas temáticos	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	Definição da área mínima para o aterro sanitário	33
4.1.1	Estimativa do crescimento populacional	33
4.1.2	Geração per capita e massa dos resíduos sólidos urbanos	34

4.1.3	Volume dos resíduos e área mínima necessária.....	35
4.2	Geração dos mapas temáticos	36
4.2.1	Declividade.....	36
4.2.2	Distância de Recursos Hídricos.....	37
4.2.3	Distância de Núcleos Populacionais e Vias Públicas	38
4.2.4	Área de Segurança Aeroportuária.....	39
4.2.5	Unidades de Conservação (UCs).....	40
4.2.6	Bioma Mata Atlântica	41
4.2.7	Terras Indígenas e Quilombolas	42
4.3	Áreas propícias para a implantação do aterro sanitário.....	43
4.4	Seleção das áreas potenciais para aterros sanitários.....	45
5	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

O aumento da geração de resíduos sólidos urbanos está diretamente relacionado ao crescimento populacional e ao desenvolvimento econômico, se tornando uma questão urgente e desafiadora no mundo todo. Com o passar dos anos, a geração de resíduos sólidos tende a aumentar, exigindo soluções eficientes e sustentáveis em sua gestão e gerenciamento.

O termo resíduos sólidos urbanos (RSU) se refere a materiais descartados nas áreas urbanas, provenientes de atividades domésticas, comerciais e industriais. Alguns desses resíduos ainda podem ser reciclados ou reutilizados, do contrário é importante que tenham a destinação e disposição adequada, a fim de evitar impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública.

A má gestão desses resíduos, traz diversas consequências negativas, como proliferação de vetores, doenças e contaminação do solo, água e ar podendo resultar em crimes ambientais. A implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) trouxe diretrizes importantes para a gestão e gerenciamento adequado dos resíduos, estimulando inovações e soluções para buscar um desenvolvimento mais sustentável.

Uma das metas estabelecidas pela PNRS foi o fechamento e recuperação dos lixões, o que contribuiu para o aumento dos aterros sanitários e, conseqüentemente, para a diminuição dos lixões no Brasil. Isso porque os lixões representam uma forma extremamente prejudicial de disposição final, já os aterros sanitários são considerados uma alternativa mais adequada ambientalmente, proporcionando uma disposição final segura.

A implantação de aterros sanitários no país enfrenta alguns desafios, como alto custo de implantação, seleção de áreas adequadas e outros. Nesse sentido, é imprescindível a busca por tecnologias que reduzam os custos e tornem essa alternativa mais viável para os municípios brasileiros.

A seleção de áreas adequadas para implantação de um aterro sanitário é uma etapa fundamental no processo de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, é necessário escolher locais que atendam critérios técnicos, ambientais e socioeconômicos, com a finalidade de reduzir os impactos negativos e garantir a disposição adequada.

As geotecnologias, como sistemas de informações geográficas, sensoriamento remoto e outras, desempenham um papel importante na área ambiental e podem auxiliar na seleção de áreas para implantação dos aterros sanitários. Essas ferramentas possibilitam a análise dos dados geográficos em conjunto com os critérios de restrição estabelecidos, facilitando a identificação dos locais propícios.

Este trabalho busca explorar a seleção de áreas adequadas para a implantação de aterro sanitário, utilizando geotecnologias como ferramentas para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. Será analisada a viabilidade técnica, econômica e ambiental dessa abordagem, no município de Campo Belo, localizado em Minas Gerais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos se referem a materiais descartados decorrente de atividades antrópicas e de processos naturais. Esse termo frequentemente é confundido com outros, como "lixo" e "rejeitos", esses conceitos podem variar de acordo com diferentes fontes literárias.

Segundo Monteiro (2001), os resíduos sólidos, também chamados de "lixo", englobam todos os materiais sólidos e semi-sólido indesejáveis que requerem remoção por terem sido considerados inúteis. Uma definição bastante similar é a de Santos (2012), destacando que os resíduos sólidos são materiais considerados indesejáveis por quem os descarta, provenientes de uma ampla variedade de atividades e locais, onde seu descarte inadequado pode resultar em graves consequências ao meio ambiente, a saúde e bem-estar humano.

Existem outras definições que aprofundam no conceito de resíduos sólidos, como é o caso da Norma Brasileira (NBR) 10.004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) onde é estabelecido o seguinte conceito:

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

É importante destacar que a Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece termos fundamentais para o âmbito ambiental, sob a perspectiva legal, conforme destacado no Art. 3, incisos XV e XVI em que são apresentadas as seguintes definições:

Resíduos sólidos: 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).

Rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada. (BRASIL, 2010).

2.1.1 Classificação

A classificação dos resíduos sólidos é uma etapa de extrema importância na gestão e gerenciamento dos mesmos, possibilitando a adoção de medidas adequadas para o manejo de cada resíduo. Essa classificação pode ser feita de várias maneiras, as mais comuns avaliam a natureza ou origem do resíduo, bem como os riscos potenciais de contaminar o meio ambiente (MONTEIRO, 2001).

Para a ABNT NBR 10.004/2004, os resíduos são classificados como "Resíduos classe I - Perigosos; Resíduos classe II – Não perigosos; Resíduos classe II A – Não inertes; Resíduos classe II B – Inertes."

Para efeitos legais, a Lei 12.305/2010 classifica os resíduos sólidos quanto a origem e a periculosidade, como observado no Art. 13, incisos I e II:

I - quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas "a" e "b";
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas "b", "e", "g", "h" e "j";
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea "c";
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas

atividades;

j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios; (BRASIL, 2010).

II - quanto à periculosidade:

a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”. (BRASIL, 2010).

A legislação 12.305/2010 define também os termos gerenciamento e gestão, objetivando um plano de gerenciamento ambientalmente adequado e um plano de gestão integrada, no Art. 3, incisos X e XI:

X - gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei; (BRASIL, 2010).

XI - gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável; (BRASIL, 2010).

2.1.2 Características Físicas

Os conhecimentos das características físicas possibilitam a classificação adequada dos resíduos sólidos, o que gera benefícios como seleção de métodos adequados para a recuperação do material e de tecnologias para realizar um melhor tratamento. As características são utilizadas pelos gestores, não apenas para o dimensionamento, mas também para a seleção de tratamento e disposição final (SOLANI; KUMSCHLIES; SCHALCH, 2019).

Quando diz respeito às características físicas, os autores Monteiro (2001) e Solani, Kumschlies e Schalch (2019) concordam que é necessário conhecer a geração per capita, peso específico aparente, composição gravimétrica, teor de umidade e compressividade dos resíduos.

2.1.3 Disposição Final

A geração de resíduos sólidos é consequência do crescimento populacional, desenvolvimento industrial e do aumento do consumismo na nossa população. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), no ano de 2022 a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil alcançou aproximadamente 81,8 milhões de toneladas. Nesse mesmo ano, o país coletou cerca de 76,1 milhões de toneladas, o que representa uma taxa de cobertura de coleta de 93%. É importante ressaltar que 46,4 milhões de toneladas dos resíduos coletados foram encaminhados para aterros sanitários, enquanto 29,7 milhões de toneladas foram para aterros controlados ou lixões. Isso quer dizer que cerca de 61% dos resíduos coletados possuíram uma disposição final ambientalmente adequada, enquanto 39% tiveram disposição inadequada, dados que são observados na Figura 1.

Figura 1 - Disposição final adequada e inadequada em 2022

Região	Disposição adequada		Disposição inadequada	
	t/ano	%	t/ano	%
Norte	1.870.470	36,6%	3.240.105	63,4%
Nordeste	6.214.527	37,2%	10.491.191	62,8%
Centro-Oeste	2.532.762	43,5%	3.288.281	56,5%
Sudeste	29.773.638	74,3%	10.298.552	25,7%
Sul	6.020.694	71,6%	2.388.097	28,4%
Brasil	46.412.091	61,0%	29.706.226	39,0%

Fonte: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2022).

A disposição final ambientalmente adequada está prevista na Lei nº 12.305/2010, sendo definida como “distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos” (BRASIL, 2010).

A Lei nº 14.026/2020 estabelece um prazo para que essa disposição final ambientalmente adequada seja implantada em todo Brasil, como referido no Art. 54:

A disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deverá ser implantada até 31 de dezembro de 2020, exceto para os Municípios que até essa data tenham elaborado plano intermunicipal de resíduos sólidos ou plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos e que disponham de

mecanismos de cobrança que garantam sua sustentabilidade econômico-financeira, nos termos do art. 29 da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para os quais ficam definidos os seguintes prazos:

I - até 2 de agosto de 2021, para capitais de Estados e Municípios integrantes de Região Metropolitana (RM) ou de Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) de capitais;

II - até 2 de agosto de 2022, para Municípios com população superior a 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010, bem como para Municípios cuja mancha urbana da sede municipal esteja situada a menos de 20 (vinte) quilômetros da fronteira com países limítrofes;

III - até 2 de agosto de 2023, para Municípios com população entre 50.000 (cinquenta mil) e 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010; e

IV - até 2 de agosto de 2024, para Municípios com população inferior a 50.000 (cinquenta mil) habitantes no Censo 2010. (BRASIL, 2020).

2.2 Aterros Sanitários

A definição de aterro sanitário pode variar de acordo com diferentes autores, mas é crucial, especialmente no contexto ambiental, compreender esse e outros termos, como "lixão" e "aterro controlado".

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) define lixão como uma forma inadequada de disposição final, que se caracteriza pela simples descarga de resíduos sobre o solo, sem medidas de proteção à saúde pública ou ao meio ambiente. O termo é similar a descarga de resíduos a céu aberto ou vazadouro (CEMPRE, 2018).

No caso do aterro controlado, o IPT conceitua como uma técnica de disposição de resíduos no solo sem causar danos ou riscos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Geralmente, esse caso não dispõe de impermeabilização de base, nem de sistemas de tratamento do chorume ou do biogás gerado (CEMPRE, 2018).

Para Canejo (2022), aterro sanitário consiste em um processo utilizado para a disposição final de resíduos ou rejeitos no solo, é importante que seja fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas para que consiga preservar o meio ambiente.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) apresenta a seguinte definição para aterro sanitário:

Forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo mediante confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo,

segundo normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais (CEMPRE, 2018).

Segundo a ABNT NBR 8.413/1992 o conceito de aterro sanitário se apresenta como:

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

A ABNT dispõe das NBR 10.157/1987 e NBR 13.896/1997 para estabelecer os critérios para projeto, implantação e operação para aterros de resíduos perigosos e não perigosos, nessa ordem. Entender essas definições são importantes para promover práticas adequadas de manejo de resíduos sólidos urbanos e assegurar condições seguras de confinamento. O que é essencial para preservar os recursos naturais, sem causar qualquer tipo de contaminação do solo, da água ou do ar.

2.3 Geotecnologias

As geotecnologias apresentam um papel fundamental no âmbito ambiental, através das suas ferramentas de coletas de dados, monitoramento ambiental, planejamento territorial e tomada de decisões. Elas ainda podem auxiliar na conservação do meio ambiente, visando o desenvolvimento sustentável. Para Rosa (2005), geotecnologias consistem em um conjunto de tecnologias, que possuem diversas funções como coleta, processamento, análise e oferta de informações que são apresentadas com referência geográfica.

Essas tecnologias são amplamente utilizadas no processo de planejamento ambiental, sendo aplicadas para coleta, análise e visualização de dados geoespaciais. Dentre as ferramentas de geoprocessamento, destacam-se o Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o Sensoriamento Remoto (SR), o Sistema de Posicionamento Global (GPS), os Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANTs) e a Cartografia Digital (MELO et al, 2020). Pode-se ainda acrescentar a topografia como geotecnologia (ROSA, 2005).

2.3.1 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

O termo Sistema de Informação Geográfica (SIG) consiste em um conjunto de ferramentas computacionais, que por meio de equipamentos e programas, bem como técnicas e integração de dados, possibilitam a coleta, armazenamento, processamento e análise de informações georeferenciadas (ROSA, 2005).

Câmara *et al.* (2001) ainda enfatizam que a tecnologia SIG oferece ao usuário uma perspectiva única de seu ambiente de trabalho, onde todas as informações pertinentes sobre um determinado assunto estão ao seu alcance e estão relacionadas entre si devido a um elemento em comum, que é a localização geográfica.

O SIG possibilita a compatibilização de diversos critérios e fatores adotados pelo usuário, o que é uma excelente ferramenta para facilitar e reduzir custos de processos como seleção de áreas para aterros sanitários (CARVALHO, 2017).

2.3.2 Sensoriamento Remoto (SR)

O Sensoriamento Remoto (SR) é uma ferramenta muito importante na obtenção de informações sobre a superfície terrestre e sua interação com o meio ambiente. Da Silva (2009) explica que essa tecnologia utiliza como dados, as respostas teledetectadas apresentadas por fenômenos ambientais à incidência de diferentes formas de energias, sejam elas de fontes naturais ou provocadas artificialmente.

De maneira simplificada, o SR é uma forma de obter informações de um objeto ou alvo sem a necessidade de contato físico direto, resultando em benefícios como agilidade, redução de custos e melhoria na resolução espacial (ROSA, 2005). As imagens obtidas apresentam uma visão multitemporal de áreas extensas da superfície terrestre, o que permitem a análise dos ambientes e suas transformações, como impactos decorrentes de fenômenos naturais, erosão do solo, desmatamentos, queimadas e outros (FLORENZANO, 2011).

O desenvolvimento das ferramentas de geotecnologias, como sensoriamento remoto orbital e uso de sensores aerotransportados, tem contribuído significativamente para o progresso das ciências exatas e da terra e possibilitam uma interligação entre as diversas áreas que as mesmas possuem.

2.4 Seleção das Áreas Propícias

A seleção de áreas para a implantação de aterros sanitários representa um desafio para muitos municípios, pois é necessário atender a um conjunto de requisitos legais baseados em condições técnicas, como critérios topográficos, hidrológicos, socioeconômicos, ambientais, entre outros. Para MONTEIRO *et al.* (2001), os critérios utilizados são divididos em três grandes grupos, sendo eles: técnicos, econômico-financeiros e político-sociais.

A geotecnologia pode ser uma ferramenta muito importante para auxiliar nessa tarefa, devido à sua capacidade de processar um volume significativo de dados e informações, além de possibilitar a análise dos mesmos. É útil dispor de ferramentas de apoio à tomada de decisão, visando estabelecer um modelo racional de combinação de dados (CÂMARA *et al.*, 2001). Os principais modelos utilizados são o modelo Booleano e o modelo multicritério com lógica Fuzzy. Assim como todo modelo matemático, ambos apresentam vantagens e desvantagens em sua aplicação.

O modelo Booleano é mais exato e preciso, sendo mais simples para colocar em prática, resultando apenas em áreas adequadas ou inadequadas. Enquanto o modelo multicritério com a lógica Fuzzy é mais flexível e apresenta uma maior possibilidade nas escolhas das áreas (LINO, 2007).

O conjunto Fuzzy é uma metodologia que caracteriza classes que, por diversas razões, não define limites entre as mesmas. Ao contrário do conjunto Booleano, que possui limites muito bem definidos e nítidos. (CÂMARA *et al.*, 2001).

A metodologia adotada neste trabalho é influenciada pelo método Booleano, uma vez que os critérios de análise são restritivos e envolvem impedimentos legais. O objetivo é fornecer informações claras sobre as áreas que atendem ou não a legislação vigente, resultando em uma compreensão fácil. Essa abordagem visa a redução de custos e do tempo gasto no processo, tornando-a mais acessível para os municípios.

3 METODOLOGIA

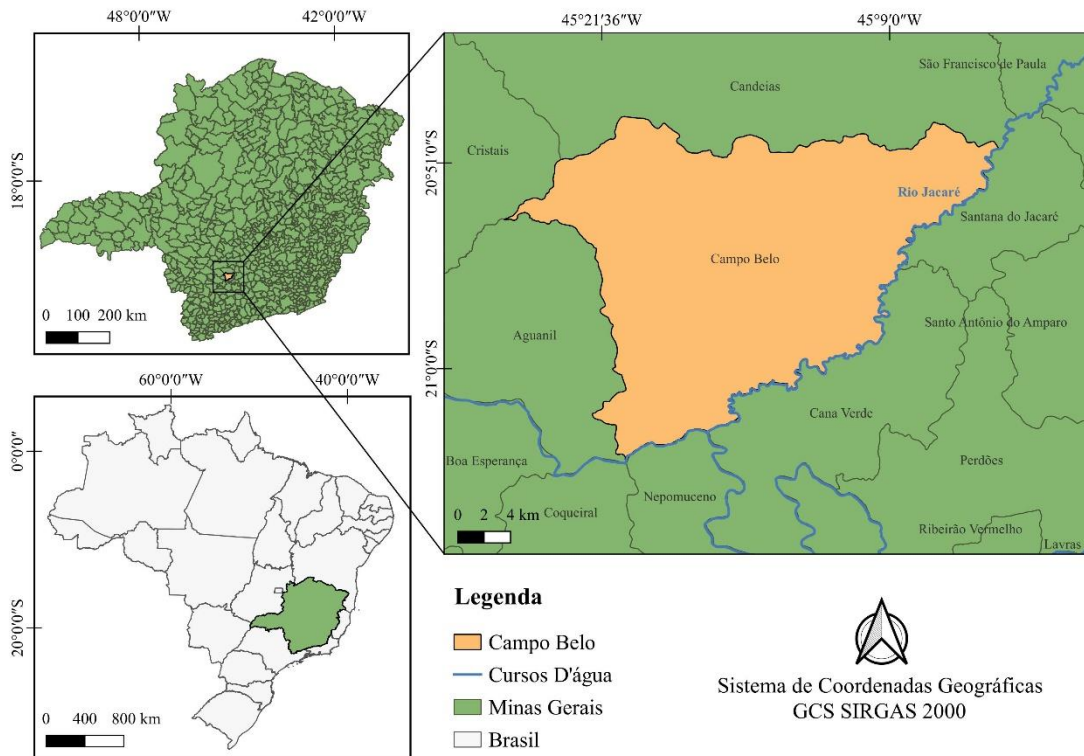
Nesse estudo são considerados apenas critérios pré-campo, como projeção populacional, geração de resíduos sólidos, cálculo da área do aterro, base cartográfica e imagens de satélite. Os mapas temáticos para análise dos dados serão elaborados de acordo com os critérios estabelecidos, obtendo resultados de forma prática.

É importante ressaltar que os critérios de campo, como amostragem de solo, sondagens e outros, não foram analisados, assim como os critérios pós-campo, como interpretação das amostras e ensaios laboratoriais. Esses critérios são indispensáveis para a implantação de um aterro sanitário.

3.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo é o município de Campo Belo, localizado no estado de Minas Gerais, cuja população para o ano de 2022 foi de 52.277 habitantes. A cidade apresenta uma área de unidade territorial de 528.225 km², pertence a Bacia do Rio Grande e a mesorregião Oeste de Minas.

Figura 2 - Mapa de Localização do Município de Campo Belo



Fonte: Do autor (2023).

Atualmente o município atende 100% da população com a coleta de resíduos sólidos urbanos (SNIS, 2020) com a disposição final no Aterro de Classe II da Central de Tratamento de Resíduos de Minas Gerais (CTR-MG) que possui sede em Nepomuceno.

3.2 Definição da Área Mínima do Aterro Sanitário

Para encontrar a área mínima necessária para a implantação do aterro sanitário em Campo Belo foram necessários a realização de cálculos de crescimento populacional, geração per capita, massa e volume dos resíduos sólidos urbanos, como exemplificados nos tópicos abaixo.

3.2.1 Projeção Populacional

Segundo a Deliberação Normativa COPAM nº 244/2022 é necessário que a área de implantação do aterro garanta uma vida útil mínima de 15 anos, para o projeto em questão será estabelecido uma vida útil de 20 anos para o aterro sanitário. É necessário o cálculo de estimativa do crescimento populacional para os anos de 2024 a 2043.

Esse cálculo pode ser feito através do primeiro e último dado censitário coletado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), observado na Tabela 1. Por meio da metodologia geométrica é possível obter o coeficiente de projeção geométrica e posteriormente a população para cada ano, segundo as Equações 1 e 2 (VON SPERLING, 1996).

Tabela 1 - População de Campo Belo em 1996 e 2022

Anos	População IBGE
1996	47.369
2022	52.277

Fonte: Adaptado do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

$$Kg = \frac{\ln P_n - \ln P_0}{t_n - t_0} \quad (1)$$

$$Pt = P_0 \times e^{Kg \times (t - t_0)} \quad (2)$$

Em que:

Kg = Coeficiente de projeção geométrica;

P_n = População referente ao segundo dado do censo;

t_n = Ano referente ao segundo dado do censo;

P_0 = População referente ao primeiro dado do censo;

t_0 = Ano referente ao primeiro dado do censo;

Pt = População referente ao ano no qual será feita a projeção;

t = Ano no qual será feita a projeção;

\ln = Logaritmo natural;

e = Constante de Euler;

3.2.2 Geração per capita e massa dos resíduos

Para a estimativa da geração de resíduos sólidos urbanos que serão destinadas ao aterro sanitário, foram utilizados dados do município de Campo Belo fornecidos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) referentes aos anos de 2011 e 2021, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Geração de resíduos sólidos urbanos em Campo Belo

Anos	População Estimada	Geração Anual (ton/ano)	Geração Média (ton/dia)	Geração per capita (kg/hab/dia)
2011	51.725	9.759,70	26,7389	0,5169
2021	54.338	9.953,60	27,2701	0,5019

Fonte: Do autor (2023).

Através da Tabela 2 e das Equações 3 e 4 é possível obter a taxa de crescimento, em seguida utiliza-se esse valor para encontrar os dados de geração per capita para os anos de 2024 a 2043, referentes ao funcionamento do aterro sanitário.

$$TC = \left(\frac{GP_n}{GP_0} \right)^{\frac{1}{(t_n - t_0)}} \quad (3)$$

$$GP_t = GP_0 \times TC^{(t - t_0)} \quad (4)$$

Em que:

TC = Taxa de crescimento;

GP_n = Geração per capita final (SNIS, 2021);

t_n = Ano referente a geração per capita final;

GP_0 = Geração per capita inicial (SNIS, 2011);

t_0 = Ano referente a geração per capita inicial;

GP_t = Geração per capita do ano a ser estimado;

t = Ano a ser estimado;

Para o cálculo de resíduos sólidos urbanos coletados segundo a Equação 5, utilizou-se os dados anuais de progressão populacional e geração per capita, bem como um percentual de 100% para a população atendida pela coleta, tanto ao início como ao final da vida útil do aterro. Posteriormente, o cálculo de resíduos sólidos a serem aterrados é feito por meio do valor de resíduos sólidos urbanos coletados e pelo percentual da área destinada ao aterro sanitário, esse percentual inicia em 100% no primeiro ano de vida do aterro, mas apresenta uma redução anual de 1%, para esses cálculos são utilizadas as Equações 6 e 7.

$$RSU_{col} = P_t \times GP_t \times \left(\frac{COL_t}{100} \right) \quad (5)$$

$$RSU_{at(\frac{kg}{dia})} = RSU_{col} \times \left(\frac{\%dest}{100} \right) \quad (6)$$

$$RSU_{at(\frac{ton}{ano})} = RSU_{at(\frac{kg}{dia})} \times \left(\frac{365}{1000} \right) \quad (7)$$

Onde:

RSU_{col} = Resíduos sólidos urbanos coletados (kg/dia);

P_t = Projeção populacional de cada ano;

GP_t = Geração per capita de cada ano;

COL_t = População atendida pela coleta ao final da vida útil do aterro;

$RSU_{at(\frac{kg}{dia})}$ = Resíduos sólidos urbanos a serem aterrados (kg/dia);

$\%dest$ = Parcela a ser destinada aos resíduos;

$RSU_{at(\frac{ton}{ano})}$ = Resíduos sólidos urbanos a serem aterrados (ton/ano);

3.2.3 Volume de resíduos e área mínima necessária

Com o intuito de obter o volume a ser aterrado, utiliza-se a Equação 8 juntamente com os dados de massa de resíduos sólidos urbanos gerado anualmente e adota-se um valor de $7kN/m^3$ de peso específico para resíduos compactados (SOWERS, 1968). Posteriormente, obtêm-se o somatório total do volume a ser aterrado ao longo dos 20 anos de funcionamento e estima-se que 25% desse valor seja utilizado como solo para recobrimento, como é possível observar na Equação 9. É considerado uma altura de empilhamento dos resíduos de 6 metros, possibilitando a obtenção da área necessária para a implantação do aterro segundo a Equação 10.

$$Vol_{\left(\frac{m^3}{ano}\right)} = \frac{RSU_{\left(\frac{ton}{ano}\right)}}{\gamma \times C} \quad (8)$$

$$Vol_{solo} = 0,25 \times \Sigma Vol \quad (9)$$

$$\text{Área} = \frac{\Sigma Vol}{6} \quad (10)$$

Onde:

$Vol_{\left(\frac{m^3}{ano}\right)}$ = Volume a ser aterrado (m³/ano);

$RSU_{\left(\frac{ton}{ano}\right)}$ = Resíduos sólidos urbanos a serem aterrados (ton/ano);

γ = Peso específico dos resíduos compactados ($\gamma = 7$ kN/m³);

C = Valor de conversão de kN para tonelada ($C = 0,1019716$);

Vol_{solo} = Volume de solo para recobrimento (m³/ano);

Área = Área necessária para a implantação do aterro sanitário (m²);

3.3 Localização das áreas propícias para a implantação do aterro sanitário

Para localizar as áreas propícias é importante definir os critérios locacionais que serão adotados no estudo e construir um banco de dados cartográficos digital para posteriormente elaborar e padronizar os mapas temáticos utilizando uma ferramenta de sistema de informação geográfica.

3.3.1 Definição dos critérios locacionais

Nessa etapa do projeto, foi realizado um levantamento dos critérios para a identificação de áreas aptas à implantação do aterro sanitário, com base nas leis ambientais vigentes. Foram consultados a Associação Brasileira de Norma Técnicas (ABNT), o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e outros. Foi viável também o acesso de informações digitais provenientes de estudos técnico-científicos sobre o assunto abordado. Os critérios resultantes desse levantamento estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Critérios adotados

Critérios	Recomendações
-----------	---------------

Declividade	A NBR 13.896 (ABNT, 1997) recomenda que o local escolhido para instalação do aterro tenha declividade superior a 1% e inferior a 30%
Vias Públicas	A Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA, 2008) recomenda uma distância mínima de 100 metros de rodovias, devido a impactos ambientais, como odores, ruídos e modificações da paisagem
Crítérios	Restrições
Núcleos Populacionais	A NBR 13.896 (ABNT, 1997) e DN nº 244 (COPAM, 2022) estabelecem uma distância mínima de 500 metros entre o aterro sanitário e núcleos populacionais
Recursos Hídricos	A NBR 13.896 (ABNT, 1997) restringe que o aterro sanitário deve se localizar a no mínimo 200 metros de coleções hídricas ou cursos d'água
Área de Segurança Aeroportuária	Segundo a Resolução nº 4 (CONAMA, 1995) e a Lei nº 12.725, o raio de 20km de aeroportos são consideradas Área de Segurança Aeroportuária - ASA, local no qual não é permitido a implantação de atividades de natureza perigosas (BRASIL, 2012)
Unidades de Conservação	A Lei nº 9.985 determina por vedada a implantação de atividade ou empreendimento em áreas de Unidades de Conservação de Proteção Integral (BRASIL, 2000)
Bioma Mata Atlântica	A Lei nº 11.428 dispõe por vedado o corte e/ou a supressão de vegetação nativa primária ou secundária em estágio médio ou avançado de regeneração (BRASIL, 2006)
Terras Indígenas	Segundo a Portaria Interministerial nº 60 fica vedada a implantação de atividade ou empreendimento em Terras Indígenas (BRASIL, 2015)
Terras Quilombolas	Segundo a Portaria Interministerial nº 60 fica vedada a implantação de atividade ou empreendimento em Terras Quilombolas (BRASIL, 2015)

Fonte: Do autor (2023).

3.3.2 Construção do banco de dados cartográficos digitais

Para o desenvolvimento do projeto, foi necessário construir um banco de dados cartográficos digitais para posterior uso da ferramenta de sistema de informação geográfica, os arquivos utilizados para a formação dessa base de dados estão detalhados no Quadro 2.

Quadro 2 - Banco de Dados Cartográficos Digitais

Dado Base	Resolução	Fonte do dado	Representação
Imagem Correção Radiométrica de Terreno Satélite Alos Palsar	12,5m	Alaska Satellite Facility (ASF)	Matricial

Imagem Pancromática Satélite CBERS-4A	2m	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)	Matricial
Imagens Multiespectrais Satélite CBERS-4A	8m	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)	Matricial
Dado Base	Escala	Fonte do dado	Representação
Unidades Federativas do Brasil	1:250.000	IBGE	Vetorial
Municípios de Minas Gerais	1:250.000	IBGE	Vetorial
Principais Trechos Hidrográficos	1:50.000 e 1:100.000	IDE-SISEMA/IGAM	Vetorial
Massas D'água	1:100.000	IDE-SISEMA/ANA	Vetorial
Logradouros Minas Gerais	1:5.000 e 1:25.000	IBGE	Vetorial
Rodoviária	1:250.000	IDE-SISEMA/DNIT	Vetorial
Ferroviária	1:250.000	IDE-SISEMA/IBGE	Vetorial
Unidades de Conservação	1:100.000	ANA/MMA	Vetorial
Cobertura Mata Atlântica	1:25.000	IDE-SISEMA/IEF	Vetorial
Terras Indígenas	-	IDE-SISEMA/FUNAI	Vetorial
Raio Restrição Terras Indígenas	-	IDE-SISEMA/SEMAD	Vetorial
Terras Quilombolas	-	IDE-SISEMA/INCRA	Vetorial
Raio Restrição Terras Quilombolas	-	IDE-SISEMA/SEMAD	Vetorial
Área de Segurança Aeroportuária	-	IDE-SISEMA/SEMAD	Vetorial
Aeródromos	-	IDE-SISEMA/DECEA	Vetorial

Fonte: Do autor (2023).

3.3.3 Elaboração e padronização dos mapas temáticos

Para gerar o mapa de áreas adequadas e inadequadas, bem como selecionar as áreas propícias correspondentes ao tamanho necessário para implantar o aterro sanitário, foram empregados procedimentos de análise espacial. Como a elaboração de mapas temáticos baseados nos critérios locacionais, utilizando o software de sistema de informação geográfica QGIS versão 3.28.6.

No mapa de declividade, dispôs-se de uma imagem do satélite Alos Palsar para obter o Modelo Digital de Elevação (MDE) em formato raster juntamente com a malha vetorial do município de Campo Belo. O raster foi recortado usando a camada de máscara que delimitou a área de estudo. Seguida pela ferramenta de análise de declividade em percentual, posteriormente, a ferramenta de reclassificação (r.reclass - GRASS) foi aplicada para que o

raster fosse separado em classes aptas e não aptas. Foi possível converter o raster em vetor para que fosse classificado em duas classes: de 1 a 30% (áreas próprias) e acima de 30% (áreas impróprias).

Para o mapa de recursos hídricos, a princípio, utilizou-se uma malha vetorial do município de Campo Belo e o Modelo Digital de Elevação (MDE) em formato raster obtido por meio da imagem do satélite Alos Palsar. Esse raster foi recortado usando a camada de máscara que delimitou a área de estudo. Aplicou-se a ferramenta de preenchimento de depressões (Fill Sinks - SAGA) e a ferramenta de rede de canais e bacias de drenagem (Channel Network and Drainage Basins - SAGA), permitindo obter os canais presentes na área de estudo. Posteriormente, foi possível utilizar uma camada de massas d'água e delimitá-la para a região do município. Foram criados dois buffers de 200 metros ao redor dos canais e das massas d'água. Através da ferramenta de união, foi possível obter apenas um buffer de 200 metros para os recursos hídricos.

Para elaborar o mapa de núcleos populacionais e rodovias, dispôs-se de malhas vetoriais de rodovias, logradouros e do município de Campo Belo. A malha de rodovias e de logradouros foram recortadas para o município em questão e por fim foram criados dois buffers, um de 100 metros ao redor de rodovias e outro de 500 metros ao redor dos logradouros da área de estudo.

O mapeamento da Área de Segurança Aeroportuária (ASA) foi feito através da malha vetorial do município de Campo Belo e da malha vetorial que contém as áreas de segurança, delimitadas através de um raio de 20 km, a partir dos aeródromos localizados em Minas Gerais e entorno de 20km da divisa estadual. Por meio desse vetor, foi selecionada apenas a área restrita ao redor do aeródromo de Campo Belo, a fim de visualizar a restrição apenas no município.

Para o mapa de unidades de conservação, foram utilizadas as malhas de unidades federativas do Brasil, a malha municipal de Minas Gerais e a malha de unidades de conservação. Todas as malhas vetoriais foram sobrepostas para identificar a inexistência de unidades de conservação na área do estudo.

No mapeamento do bioma Mata Atlântica, foram utilizadas a malha vetorial de cobertura da Mata Atlântica e do município de Campo Belo. Posteriormente, aplicou-se a

ferramenta de recorte na malha de Mata Atlântica utilizando como sobreposição a área do município em questão.

No mapa de terras indígenas e terras quilombolas, foi possível utilizar a malha municipal de Minas Gerais, a malha de terras indígenas e a malha do raio de restrição, bem como a malha de terras quilombolas e a malha do raio de restrição. Nesse mapa, as camadas vetoriais foram sobrepostas para verificar a existência de alguma área restrita na área do município.

Todas as camadas restritivas foram selecionadas e a ferramenta de mesclar camadas vetoriais foi aplicada para obter uma malha única, apenas com as áreas restritas. Em seguida, utilizando a malha vetorial de Campo Belo, a ferramenta de diferença simétrica foi aplicada, o que resultou apenas nas áreas sem restrições.

A seleção das áreas propícias foi feita aplicando a ferramenta de multipartes para partes simples, obtendo diversos polígonos de áreas distintas, foram selecionados os polígonos com áreas aparentemente mais uniformes e preferencialmente próximos as rodovias.

Para o mapeamento de áreas propícias no Satélite foram utilizadas imagens multiespectrais do satélite CBERS-4A e realizou-se uma fusão a imagem pancromática da mesma fonte, por meio da ferramenta Pansharpening (Geospatial Data Abstraction Library - GDAL).

Por último, sobrepõe a malha vetorial das áreas propícias e a imagem de satélite de composição colorida com cores naturais, resultando na visualização das áreas obtidas que atendem aos parâmetros estabelecidos, como o tamanho da área e os critérios locacionais, visando atender à população de Campo Belo por pelo menos 20 anos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Definição da área mínima para o aterro sanitário

Os cálculos necessários para determinar a área mínima requerida para a implantação do aterro sanitário em Campo Belo consideraram fatores como o crescimento populacional, a geração per capita e as estimativas de massa e volume dos resíduos sólidos urbanos. Os resultados dos cálculos estão disponíveis a seguir.

4.1.1 Estimativa do crescimento populacional

Com os valores de anos e populações na Equação 1, encontrou-se um coeficiente de projeção geométrica (Kg) de 0,0038. Por meio desse valor e da Equação 2 obtêm as populações correspondentes a cada ano da projeção, como observa-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Projeção Populacional de Campo Belo para 20 anos

Anos	Projeção Populacional
2024	52.675
2025	52.875
2026	53.076
2027	53.278
2028	53.480
2029	53.683
2030	53.887
2031	54.092
2032	54.297
2033	54.504
2034	54.711
2035	54.919
2036	55.127
2037	55.337
2038	55.547
2039	55.758
2040	55.970
2041	56.182
2042	56.396
2043	56.610

Fonte: Do autor (2023).

4.1.2 Geração per capita e massa dos resíduos sólidos urbanos

Utilizando os valores de anos, gerações de resíduos e através da Equação 3, encontrou-se uma taxa de crescimento (TC) de 0,99704. Com esse valor juntamente com a Equação 4 resulta nos dados de geração de resíduos per capita correspondentes a cada ano da projeção, como observa-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Geração per capita de Campo Belo para 20 anos

Anos	Projeção Populacional	Geração per capita (kg/hab/dia)	COLt (%)	% da área do Aterro Sanitário
2024	52.675	0,4974	100	100
2025	52.875	0,4960	100	99
2026	53.076	0,4945	100	98
2027	53.278	0,4930	100	97
2028	53.480	0,4916	100	96
2029	53.683	0,4901	100	95
2030	53.887	0,4887	100	94
2031	54.092	0,4872	100	93
2032	54.297	0,4858	100	92
2033	54.504	0,4843	100	91
2034	54.711	0,4829	100	90
2035	54.919	0,4815	100	89
2036	55.127	0,4801	100	88
2037	55.337	0,4786	100	87
2038	55.547	0,4772	100	86
2039	55.758	0,4758	100	85
2040	55.970	0,4744	100	84
2041	56.182	0,4730	100	83
2042	56.396	0,4716	100	82
2043	56.610	0,4702	100	81

Fonte: Do autor (2023).

Por meio das Equações 5, 6 e 7 também é possível calcular os resíduos sólidos urbanos coletados e a quantidade de resíduos sólidos urbanos a serem aterrados, conforme exemplificado na Tabela 5.

Tabela 5 - Resíduos sólidos urbanos coletados e a serem aterrados para 20 anos

Anos	Projeção Populacional	RSU coletados (kg/dia)	RSU a serem aterrados (kg/dia)	RSU a serem aterrados (ton/ano)
------	-----------------------	------------------------	--------------------------------	---------------------------------

2024	52.675	26.201,74	26.201,74	9.563,63
2025	52.875	26.223,52	25.961,28	9.475,87
2026	53.076	26.245,31	25.720,41	9.387,95
2027	53.278	26.267,13	25.479,11	9.299,88
2028	53.480	26.288,96	25.237,40	9.211,65
2029	53.683	26.310,81	24.995,27	9.123,27
2030	53.887	26.332,68	24.752,72	9.034,74
2031	54.092	26.354,57	24.509,75	8.946,06
2032	54.297	26.376,48	24.266,36	8.857,22
2033	54.504	26.398,40	24.022,55	8.768,23
2034	54.711	26.420,35	23.778,31	8.679,08
2035	54.919	26.442,31	23.533,65	8.589,78
2036	55.127	26.464,29	23.288,57	8.500,33
2037	55.337	26.486,28	23.043,07	8.410,72
2038	55.547	26.508,30	22.797,14	8.320,96
2039	55.758	26.530,33	22.550,78	8.231,04
2040	55.970	26.552,39	22.304,00	8.140,96
2041	56.182	26.574,46	22.056,80	8.050,73
2042	56.396	26.596,55	21.809,17	7.960,35
2043	56.610	26.618,65	21.561,11	7.869,80

Fonte: Do autor (2023).

4.1.3 Volume dos resíduos e área mínima necessária

A aplicação das Equações 8 e 9, resulta, respectivamente, no volume de resíduo a ser aterrado e no volume de solo a ser utilizado no aterramento para cada ano, como observa-se na Tabela 6.

Tabela 6 - Volume a ser aterrado e Volume de solo para 20 anos

Anos	Projeção Populacional	Volume a ser aterrado (m³/ano)	Vol. acumulado + 25% de solo (m³)
2024	52.675	13.398,18	16.747,72
2025	52.875	13.275,22	33.341,74
2026	53.076	13.152,05	49.781,80
2027	53.278	13.028,67	66.067,64
2028	53.480	12.905,07	82.198,97
2029	53.683	12.781,25	98.175,54
2030	53.887	12.657,23	113.997,07
2031	54.092	12.532,98	129.663,30
2032	54.297	12.408,53	145.173,96
2033	54.504	12.283,85	160.528,78
2034	54.711	12.158,96	175.727,48

2035	54.919	12.033,86	190.769,81
2036	55.127	11.908,54	205.655,48
2037	55.337	11.783,00	220.384,23
2038	55.547	11.657,24	234.955,79
2039	55.758	11.531,27	249.369,88
2040	55.970	11.405,08	263.626,23
2041	56.182	11.278,67	277.724,57
2042	56.396	11.152,05	291.664,63
2043	56.610	11.025,21	305.446,14
	ΣV	244.356,91	

Fonte: Do autor (2023).

É possível realizar o somatório dos dados obtidos anualmente, para volume de resíduos sólidos urbanos e volume de solo para recobrimento. Aplica-se a Equação 10 para obter a área necessária para a implantação do aterro, como exemplificado na Tabela 7.

Tabela 7 - Volumes obtidos e Área necessária para a implantação do aterro sanitário

Volume de RSU a ser aterrado (m ³)	244.356,91
Volume de Solo para recobrimento (m ³) ou 25% do Volume de RSU a ser aterrado (m ³)	61.089,23
Volume de RSU a ser aterrado (m ³) + Volume de Solo para recobrimento (m ³)	305.446,14
Área necessária para a implantação (m ²)	50.907,69
Área necessária para a implantação (ha)	5,09

Fonte: Do autor (2023).

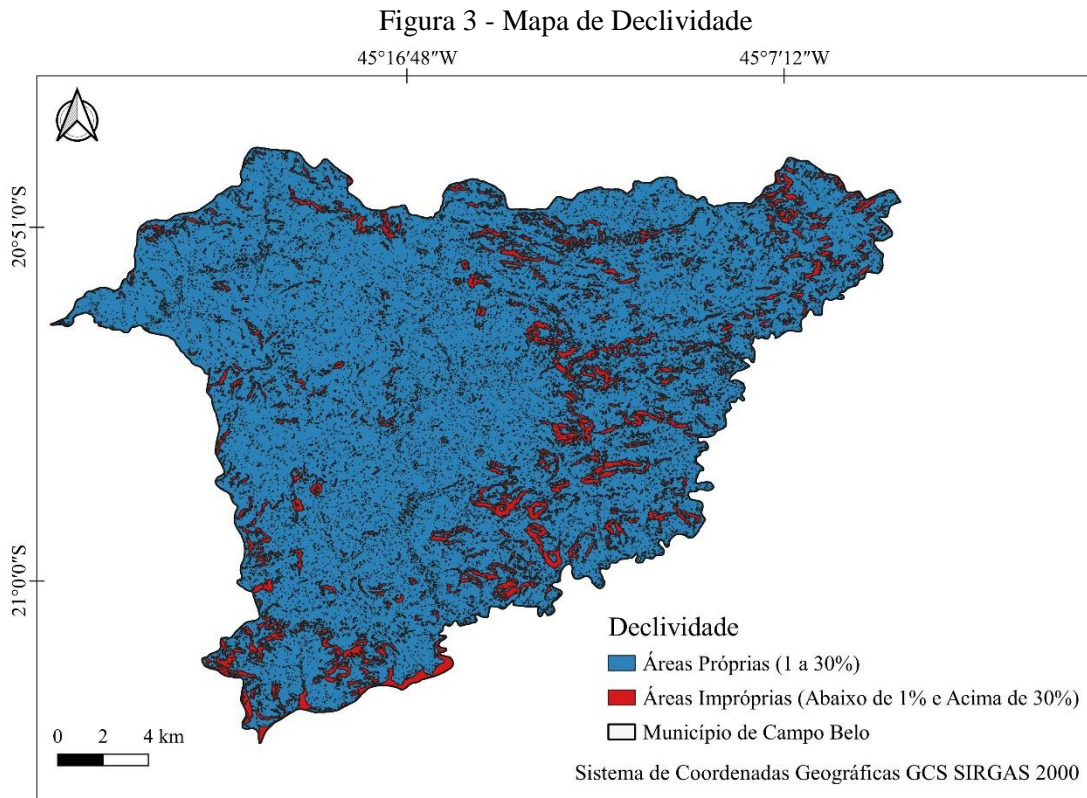
4.2 Geração dos mapas temáticos

A seguir, são apresentados os mapas temáticos padronizados de acordo com os critérios locais selecionados.

4.2.1 Declividade

A Figura 3 apresenta as áreas com e sem restrições para a implantação do aterro sanitário em relação à declividade. As áreas próprias, com declividade de 1 a 30%, estão destacadas em azul, enquanto as áreas impróprias, com declividade inferior a 1% e superior a 30%, estão

destacadas em vermelho. Ao analisar o percentual de área restrita seguindo a NBR 13.896, tem-se que apenas 65,06 km² de Campo Belo são considerados como área imprópria, o que corresponde a cerca de 12,32% da área do município.



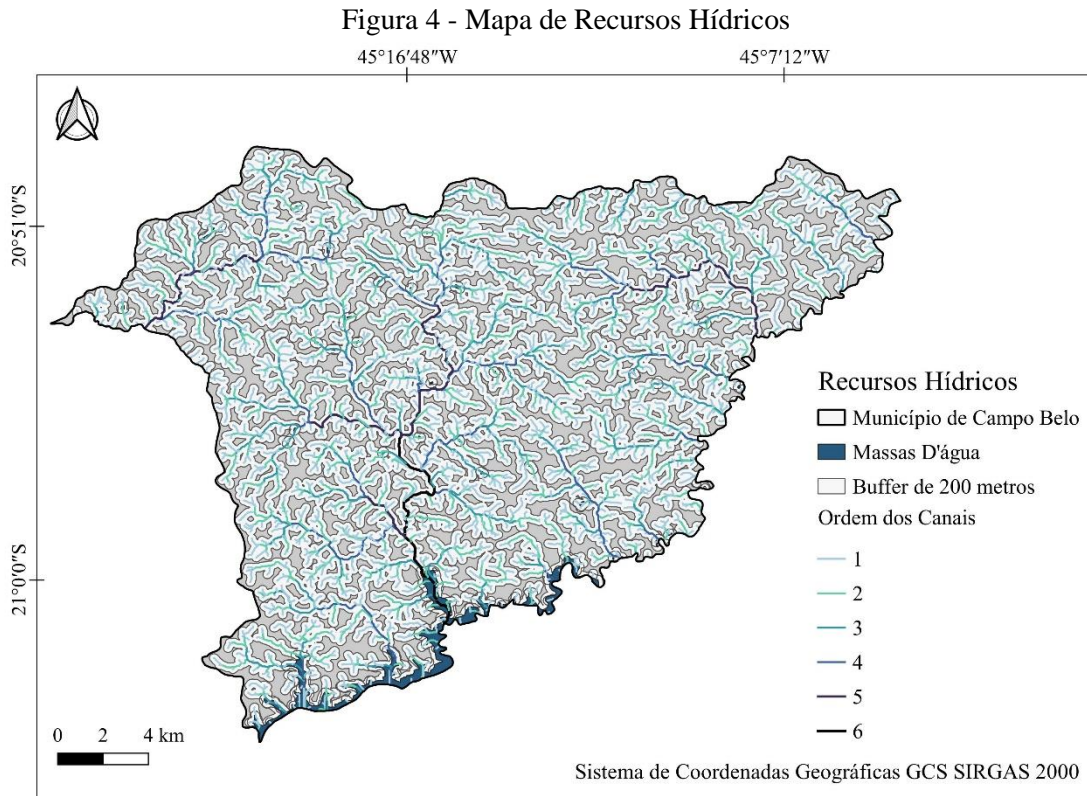
Fonte: Do autor (2023).

É importante que a área selecionada atenda o critério de declividade, pois ela está associada a estabilidade do terreno e a processos erosivos, visto que, quanto mais íngreme é o terreno, mais suscetível ele é a erosão (POAGUE et al, 2018). Esse fator também limita o transporte do material até o local, que será feito por meio de veículos pesados como caminhão baú, coletor compactador e outros (SNSA, 2008).

4.2.2 Distância de Recursos Hídricos

A Figura 4 ilustra as áreas com restrição em relação aos recursos hídricos, fica restrito uma zona de influência de 200 metros ao redor dos canais d'água. Ao observar o mapa, é possível identificar trechos de diferentes ordens, variando de 1^a até 6^a ordem. Nota-se que os trechos de cores azul escuro são de 5^a e 6^a ordem e seguem na direção do Rio Jacaré, afluente do Rio Grande. A restrição da NBR 13.896 determina um buffer de 200 metros ao redor dos

recursos hídricos, o que resulta na indisponibilidade de 396,14 km² dos 528,23 km² do município, correspondente a 75% da área total.



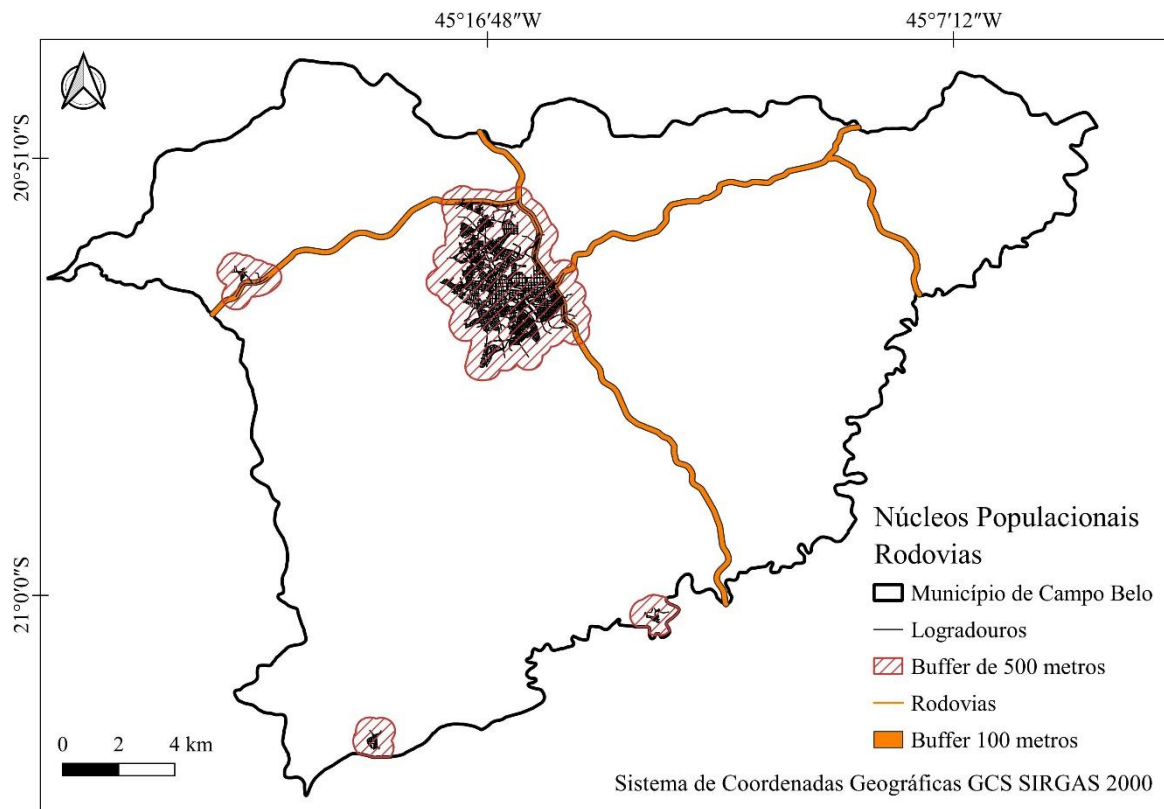
Fonte: Do autor (2023).

A área selecionada não deve ser situada próxima a coleções hídricas, essa restrição é em função da segurança, diminuindo o risco de contaminação do recurso hídrico (SNSA, 2008).

4.2.3 Distância de Núcleos Populacionais e Vias Públicas

Seguindo a NBR 13.896 e a DN n° 244, os núcleos populacionais apresentam um buffer de 500 metros ao redor de seus logradouros, bem como um buffer de 100 metros nos arredores das rodovias, conforme observado na Figura 5. Por meio dessas restrições, cerca de 47,2 km² dos 528,23 km² do município se tornam indisponíveis, aproximadamente 8,94% da área de Campo Belo.

Figura 5 - Mapa de Núcleos Populacionais e Rodovias

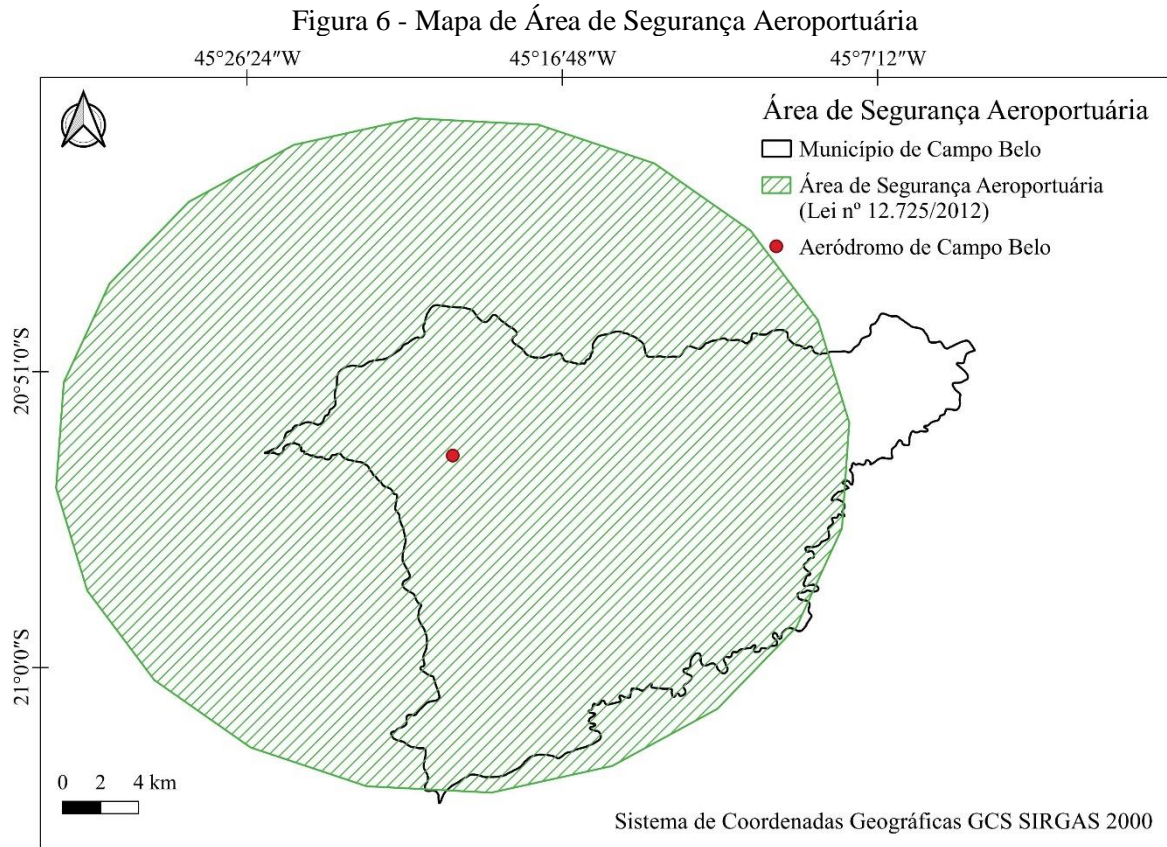


Fonte: Do autor (2023).

A localização da área selecionada precisa atender ao requisito de distância mínima dos núcleos populacionais e rodovias, pois o aterro pode causar impactos negativos, como mau odor e poluição visual (IGLESIAS, 2021). Ao instalar o aterro muito próximo à cidade, existe o risco da malha urbana se aproximar do mesmo ao longo dos anos (MINÉU *et al.*, 2017).

4.2.4 Área de Segurança Aeroportuária (ASA)

A Figura 6 evidencia o parâmetro mais restritivo considerado na análise dos critérios locacionais, cerca de 92,5% do território municipal está localizado dentro do raio de 20 quilômetros do aeródromo de Campo Belo. A Resolução CONAMA 04/95, impossibilita o uso de uma área de 488,47 km² dos 528,23 km² do município.



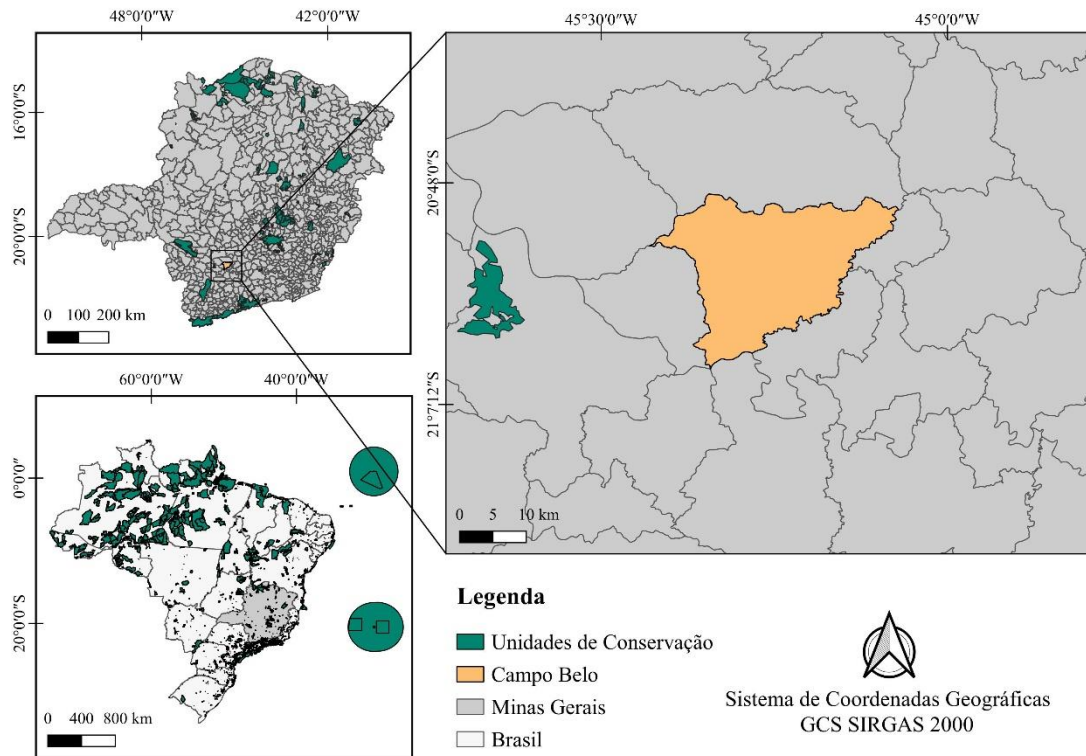
Fonte: Do autor (2023).

A área selecionada precisa se localizar fora da área de segurança aeroportuária, pois essa distância de segurança reduz o risco de possíveis acidentes por colisão de aves com aeronaves, que são atraídas em função do odor do aterro sanitário (CARVALHO, 2017).

4.2.5 Unidades de Conservação (UC)

Como observado na Figura 7, o município de Campo Belo não apresenta Unidades de Conservação (federais, estaduais, distritais ou municipais) em sua extensão, o que representa um fator não restritivo.

Figura 7 - Mapa de Unidades de Conservação

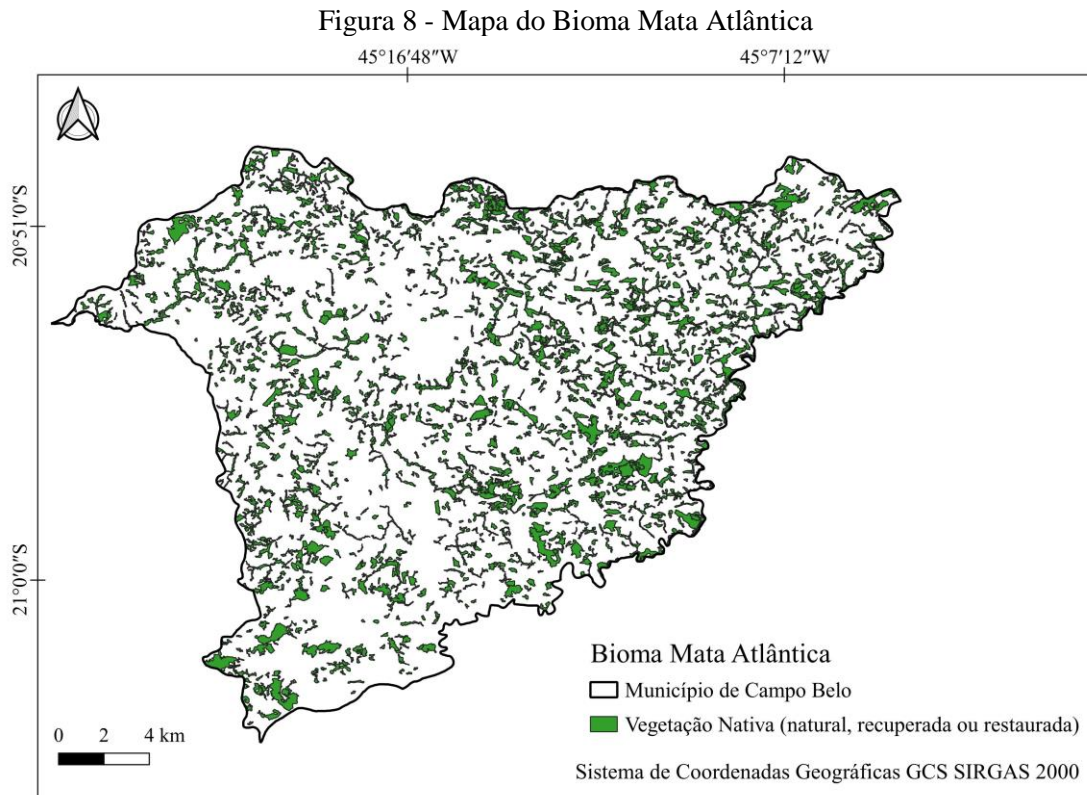


Fonte: Do autor (2023).

É importante que a área selecionada se encontre fora de unidades de conservação, visto que são territórios que possuem recursos ambientais, objetivando a conservação dos mesmos. Algumas unidades apresentam zonas de amortecimento, que têm como objetivo principal minimizar os impactos ambientais negativos (Lei nº 9.985/2000, art. 2º, inciso XVIII).

4.2.6 Bioma Mata Atlântica

Quando se trata do Bioma Mata Atlântica, a Lei nº 11.428/2006 inviabiliza cerca de 90,73 km² dos 528,23 km² de Campo Belo, o que representa cerca de 17,18% do território municipal, como é possível observar na Figura 8.



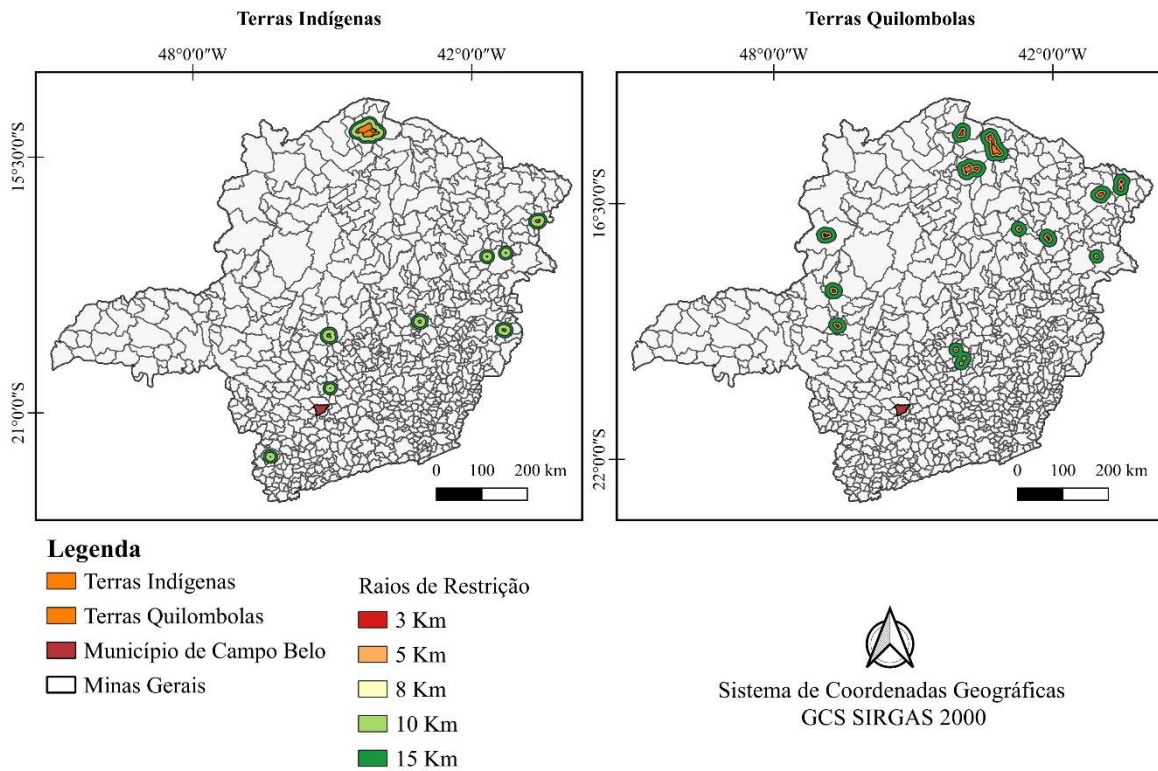
Fonte: Do autor (2023).

A localização da área selecionada não deve sobrepor integrantes do Bioma Mata Atlântica, como formações florestais nativas e ecossistemas associados (BRASIL, 2006). Bem como é preferível que os aterros sanitários sejam construídos em locais que possuem o solo exposto, visando uma redução de custos da preparação do terreno e menores impactos ambientais (POAGUE et al, 2018).

4.2.7 Terras Indígenas e Quilombolas

Através da Portaria Interministerial nº 60, fica proibido qualquer tipo de empreendimento ou atividade em terras indígenas e quilombolas. Esse fato levou ao mapeamento da Figura 9, onde podemos constatar que não há áreas restritas dentro do território do município.

Figura 9 - Mapa de Terras Indígenas e Quilombolas

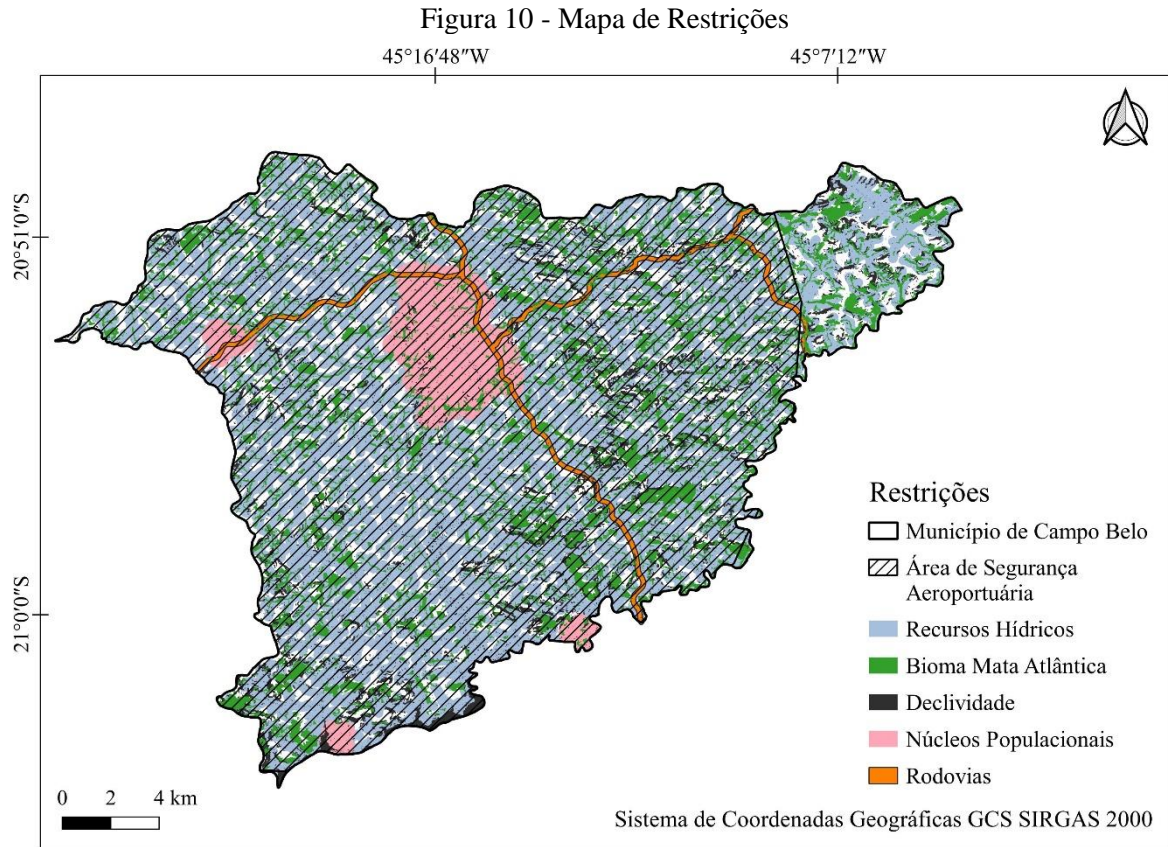


Fonte: Do autor (2023).

A localização da área selecionada não deve pertencer a terras indígenas ou quilombolas, visto que, os territórios e seus raios de restrição são formas de proteção desses povos em si, bem como de sua cultura e tradições e desempenham um papel importante na conservação dos recursos naturais.

4.3 Áreas propícias para a implantação do aterro sanitário

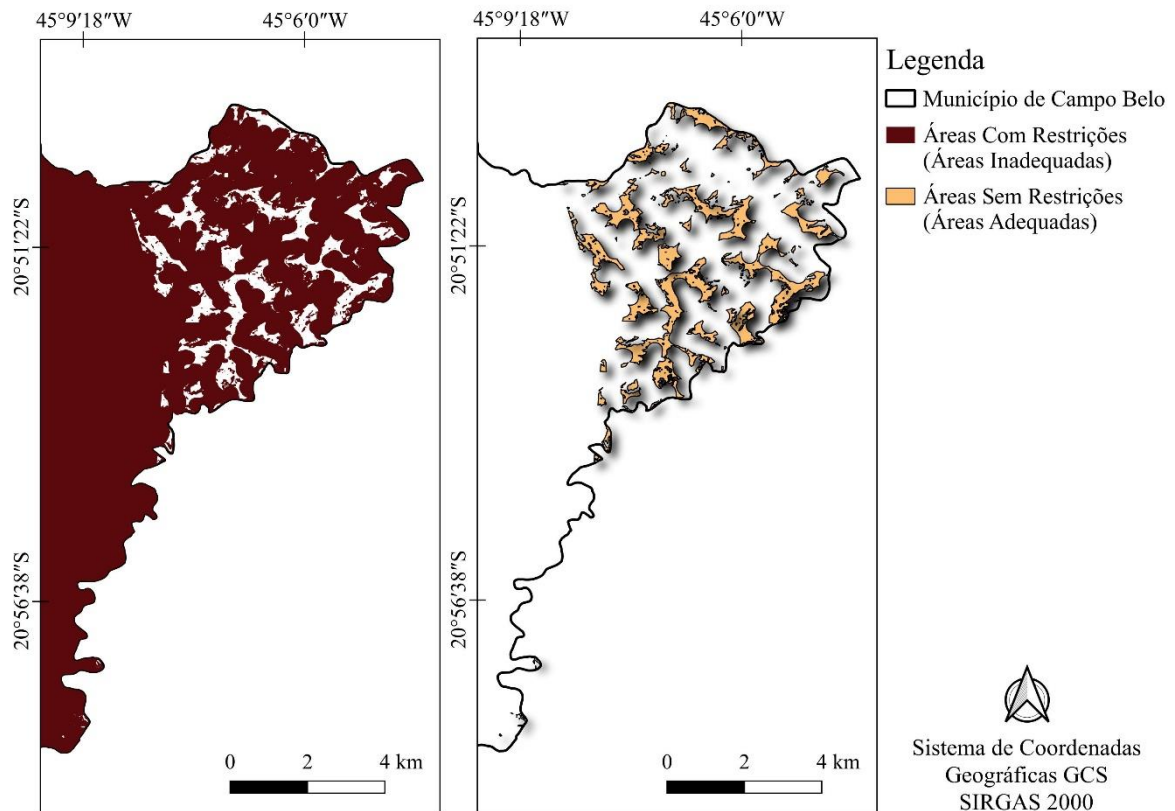
Após uma análise dos mapas temáticos fornecidos anteriormente, é possível criar um mapa de sobreposição de todas as restrições e outro mapa de identificação das áreas adequadas e inadequadas, como visto nas Figuras 10 e 11, respectivamente.



Fonte: Do autor (2023)

As sobreposições das camadas de restrições devido aos critérios locais escolhidos resultaram em 98,45% de áreas com restrições e apenas 1,55% de áreas sem restrições.

Figura 11 - Mapa das áreas adequadas e inadequadas



Fonte: Do autor (2023).

Lopes (2022) realizou um estudo semelhante utilizando o método booleano no município de Uberlândia, localizado em Minas Gerais. Os resultados destacaram que as áreas de alta aptidão correspondem a 5,67% do território municipal, enquanto os outros 94,33% foram classificados em categorias de áreas: sem aptidão, baixa aptidão, média baixa aptidão e média alta aptidão.

Similarmente, De Marcos *et al.* (2020) pesquisaram sobre áreas propícias para implantação de aterro sanitário na cidade de Lavras, situada em Minas Gerais. O fator mais restritivo identificado foi a hidrografia, limitando cerca de 96,70% da área municipal. Restaram no mínimo 3,3% para áreas possíveis, desde que não houvesse sobreposição com outros parâmetros restritivos.

4.4 Seleção das áreas potenciais para aterros sanitários

A seleção de áreas propícias para a implantação do aterro sanitário em Campo Belo é feita, contendo no mínimo 6 hectares de área e localizadas entre 0,5 a 3 quilômetros das

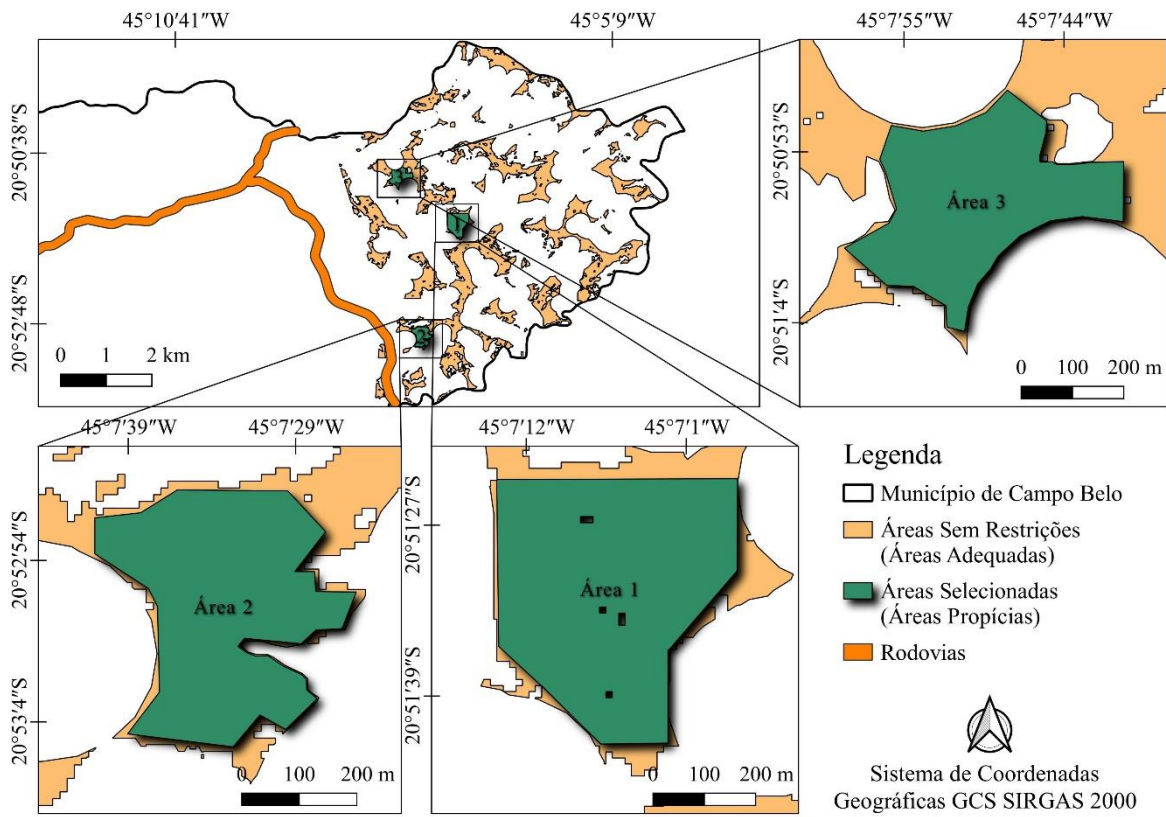
Rodovias Estaduais CMG-369 e LMG-843, para a redução dos custos relativos ao transporte. Resultando em 3 áreas distintas com tamanhos diferentes, como detalhadas na Tabela 8 e na Figura 12.

Tabela 8 – Áreas Propícias e seus respectivos tamanhos

Área	1	2	3
Tamanho (ha)	19,73	13,28	12,50

Fonte: Do autor (2023).

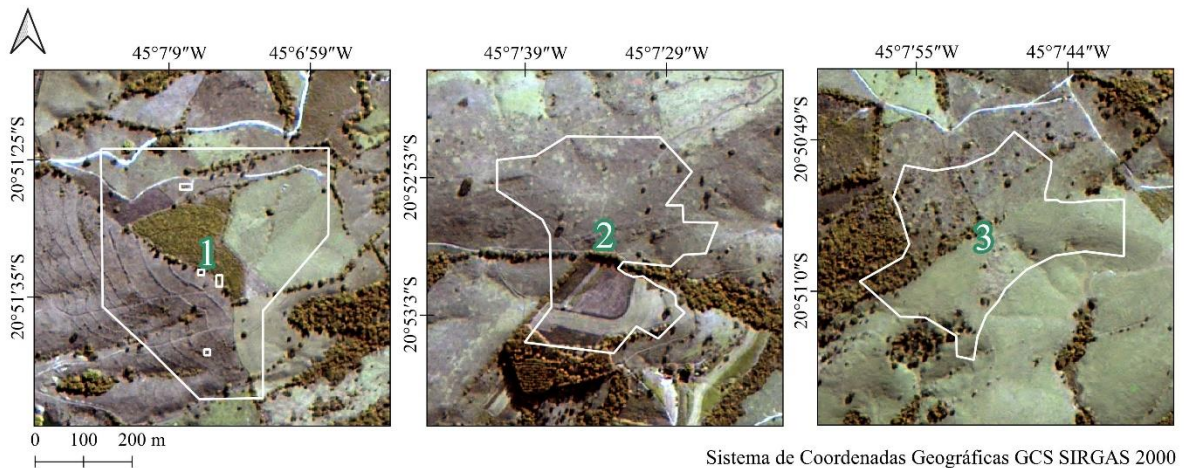
Figura 12 - Mapa das Áreas Propícias



Fonte: Do autor (2023).

Nas Figuras 13, as áreas propícias estão representadas em sobreposição a uma imagem do Satélite CBERS-4A obtida na data de 06 de junho de 2023 para melhor visualização da superfície.

Figura 133 - Mapa das Áreas Propícias no Satélite



Fonte: Do autor (2023).

É importante ressaltar que, mesmo com a seleção das áreas propícias, existem outros critérios que precisam ser avaliados. Do ponto de vista político-social, é necessário levar em conta o impacto do empreendimento nas comunidades, bem como a reação da população em relação a ele. No âmbito aspecto econômico-financeiro, existem custos de transporte dos resíduos até a área do aterro, custo de construção e infraestrutura, custos de desapropriação de terras e realocação de pessoas que vivem nas proximidades do local do aterro sanitário.

Para garantir a adequação, a escolha da área deve atender não apenas aos critérios técnicos, ambientais e socioeconômicos, a escolha da área também deve estar em conformidade com os instrumentos legais do município onde será localizada, como Lei do Plano Diretor e Zoneamento, Lei de Uso e Ocupação do solo e outras.

5 CONCLUSÃO

O uso das geotecnologias demonstrou eficiência nesse estudo, permitindo a identificação e análise de áreas propícias para a implantação de um aterro sanitário nas proximidades da cidade, levando em consideração os critérios técnicos e ambientais.

No aspecto econômico-financeiro, esse estudo proporciona uma redução de custos ao avaliar os critérios técnicos e filtrar as áreas aptas, resultando em uma economia tanto de recursos humanos quanto financeiros. É importante destacar que outros critérios relevantes, como a distância até o centro de coleta, os custos de aquisição do terreno, construção, infraestrutura e gastos com a manutenção do sistema de drenagem, não foram considerados.

No âmbito político-social, esse estudo assume um papel importante ao auxiliar a administração pública e a sociedade, uma vez que contribui para a deliberação com embasamento técnico e legal. Além disso, é relevante considerar outros fatores como a proximidade de comunidades de baixa renda, a acessibilidade por vias pouco ocupadas e a ausência de conflitos com a comunidade local.

As ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Sensoriamento Remoto (SR) desempenharam um papel fundamental na avaliação de critérios estabelecidos, utilizando dados já existentes. Essas ferramentas podem ser consideradas como facilitadoras para o planejamento ambiental e para tomada de decisões.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2022**. São Paulo: Abrelpe, 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 9 mai. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Massas d'água**. Vetor. Escala 1:100000. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/537a07b7-4a29-422d-bdde-43ae8af87b61>.

ALASKA SATELLITE FACILITY (ASF) DAAC 2015. **ALOS PALSAR Radiometric Terrain Correction High Resolution**. Includes Material © JAXA/METI 2007. DOI: <https://doi.org/10.5067/Z97HFCNKR6VA>. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004. Acesso em: 6 abr. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10157**: Aterros de resíduos perigosos - Critérios para projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1987. Acesso em: 16 jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13896**: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997. Acesso em: 16 jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992. Acesso em: 6 abr. 2023.

BERNARDI, JOSÉ VICENTE ELIAS; LANDIM, PAULO M. BARBOSA. **Aplicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) na coleta de dados**. Universidade Federal de Rondônia, 2002. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/7524594/textogps.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2023.

BRAGA, Fernando Luiz; PEREIRA, SCMI. 018–Escolha De Áreas Potenciais Para Implantação De Aterro Sanitário Utilizando Sig: Estudo De Caso. **XI SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SOLIDOS. Anais... Brasília: ABES**, p. 1-8, 2014. Disponível em: <https://docplayer.com.br/42637881-I-018-escolha-de-areas-potenciais-para-implantacao-de-aterro-sanitario-utilizando-sig-estudo-de-caso.html>. Acesso em: 6 jul. 2023.

BRASIL. **Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm. Acesso em: 1 jun. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 5

jul. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984; e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm. Acesso em: 5 jul. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.725, de 16 de outubro de 2012.** Dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112725.htm. Acesso em: 26 jul. 2023.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 22 jun. 2023.

BRASIL. **Portaria Interministerial nº 60, de 24 de março de 2015.** Estabelece procedimentos administrativos que disciplinam a atuação dos órgãos e entidades da administração pública federal em processos de licenciamento ambiental de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/m/malaria/publicacoes/licenciamento-ambiental/portaria-interministerial-no-60-de-marco-de-2015/view>. Acesso em: 22 jun. 2023.

CÂMARA, Gilberto *et al.* **Introdução à ciência da geoinformação.** São José dos Campos: INPE, v. 345, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em: 8 jul. 2023.

CANEJO, Carlos. **Gestão integrada de resíduos sólidos: múltiplas perspectivas para um gerenciamento sustentável e circular.** Freitas Bastos, 2021. Acesso em: 5 jul. 2023.

CARVALHO, Renei Rocha de. **Aplicação de análise multicritério em ambiente de geoprocessamento no estudo de áreas para implantação de aterros sanitários—área sul da RIDE/DF e Entorno.** 2017. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/25330>. Acesso em: 6 jul. 2023.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM). Deliberação Normativa COPAM nº 217, de 06 de dezembro de 2017. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locacionais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. **Diário do Executivo do Estado de Minas Gerais**, 08 de dezembro de 2017. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45558>. Acesso em: 6 abr. 2023.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM). Deliberação Normativa COPAM nº 244, de 27 de janeiro de 2022. Dispõe sobre os critérios para implantação e operação de aterros sanitários em Minas Gerais e dá outras providências. **Diário do Executivo do Estado de Minas Gerais**, 17 de fevereiro de 2022. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=55442>. Acesso em: 6 abr. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução CONAMA nº 4, de 9 de outubro de 1995. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 11 de dezembro de 1995. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=454>. Acesso em: 6 abr. 2023.

DA SILVA, Jorge Xavier. O que é geoprocessamento? **Revista do CREA-RJ**. v. 79, p. 42-44, 2009. Disponível em: <http://www.ufrj.br/lga/tiagomarino/artigos/oqueegeoprocessamento.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2023.

DE MARCOS, Larissa Botelho Gomes *et al.* Uso de geotecnologias na seleção de áreas propícias para implantação de aterro sanitário em Lavras-MG. Use of geotechnologies in the selection of suitable areas for implementation of landfill in Lavras-MG. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 2243-22452, 2022. DOI:10.34117/bjdv8n3-440. Acesso em: 11 mai. 2023.

DE REZENDE, Fernanda Silva *et al.* Áreas potenciais para implantação de aterro sanitário em Ilha Grande-RJ. **INPE**, v. 24, p. 340, 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0930.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2023.

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA DO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE DO BRASIL (DATASUS). **Tecnologia da Informação a Serviço do SUS**. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?ibge/cnv/popmg.def>.

Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Malha de Aeródromos. Vetor. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/da048e80-94ae-417a-8315-65245e89ef8c>.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Malha rodoviária de Minas Gerais**. Vetor. Escala 1:250000. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/ba9062d9-15d1-4373-9638-2ef8ce885f74>.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 24-29, 2005. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0017.0002>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47272>. Acesso em: 6 jul. 2023.

FUNDAÇÃO NACIONAL DOS POVOS ORIGINÁRIOS (FUNAI). **Terras indígenas**. Vetor. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/2e71475a-0251-4968-a6d9-624750de6287>.

IGLESIAS, Mariane Silva. **DIAGNÓSTICO DE IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE VERÍSSIMO-MG**. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/Observatorium/article/view/59058>. Acesso em: 6 jul. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Caderno de estudo**:

Introdução à geotecnologia. IBAM. – Rio de Janeiro: IBAM, 2015. Disponível em: <https://www.fundoamazonia.gov.br/pt/.galleries/documentos/acervo-projetos-cartilhas-outros/IBAM-Introducao-Geotecnologia-caderno-estudo.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Base de Faces de Logradouros.** Vetor. Escalas 1:5.000 e 1:25.000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/28971-base-de-faces-de-logradouros-do-brasil.html>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malha de Unidades Federativas do Brasil.** Vetor. Escala 1:250000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malha Municipal Minas Gerais.** Vetor. Escala 1:250000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Panorama de Campo Belo.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/campo-belo/panorama>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Subsistema ferroviário.** Vetor. Escala 1:250000. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/5845c2bb-eaed-4c2b-b91a-b318d192b66d>.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT); COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado.** 4. ed. São Paulo, 2018. Disponível em: https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf. Acesso em: 26 jul. 2023

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS (IEF). **Cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica.** Vetor. Escala 1:25000. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/31b2fe8e-95b2-4804-a909-320e37a38c3b>.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Principais trechos hidrográficos das Circunscrições Hidrográficas de Minas Gerais.** Vetor. Escalas 1:50000 e 1:100000. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/ebb215b7-10a5-481b-8cb2-823b4cf3d5e4>.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Terras quilombolas.** Vetor. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/b347bee9-f1a1-405d-82ac-48a560cf0a1a>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Imagem do Satélite**

CBERS-4A. Disponível em: <http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>.

LINO, Isabela Coutinho. **Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: análise comparativa de métodos**. 2007. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciência Exatas. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/92745/lino_ic_me_rcla.pdf?sequE. Acesso em: 6 abr. 2023.

LOPES, Renata Costa. **Uso de sig na análise para implantação de aterro sanitário no município de Uberlândia – MG**. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/36424>. Acesso em: 5 jul. 2023.

LOPES, Renata Costa; SILVA, Raquel Naiara FERNANDES. Aplicação das lógicas Booleana e Fuzzy na determinação de áreas aptas para a implantação de aterro sanitário. **Revista Geociências**, v. 41, n. 1, p. 287-297, 2022. <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/16277>. Acesso em: 5 jul. 2023.

LOURENÇO, Roberto Wagner *et al.* Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 3, p. 122-140, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/105902/2179460X15973>. Acesso em: 5 jul. 2023.

MEDEIROS, José Ludemario da Silva *et al.* **Identificação de áreas favoráveis a implantação de aterros sanitários entre municípios do sertão paraibano**. 2022. Disponível em: <http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/4228>. Acesso em: 9 mar. 2023.

MELO JUNIOR, Homero Reis *et al.* **Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial: volume 6–seleção e caracterização de áreas adequadas para a instalação de aterros sanitários**. 2022. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/23007>. Acesso em: 6 jul. 2023.

MELO, Emanuelle Zordan de *et al.* **Geotecnologias aplicadas à análise e delimitação de Área de Preservação Permanente (APP) de cursos d'água**. 2020. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <https://repositorio-dev.ufu.br/handle/123456789/29056>. Acesso em: 6 jul. 2023.

MINAS GERAIS. **Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009**. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos no Estado de Minas Gerais. Diário do Executivo, Minas Gerais, MG, 13 janeiro 2009. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=9272>. Acesso em: 7 jul. 2023.

MINÉU, Humberto Ferreira Silva *et al.* **O custo de oportunidade do aterro sanitário de Ituiutaba, MG: componentes e repercussão econômica em longo prazo**. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/18910>. Acesso em: 6 jul. 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Unidades de Conservação**. Vetor. Escala 1:100000. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/9407d38f-84d2-48ea-97dd-ee152c493043>.

MONTEIRO, José Henrique Penido. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos**

sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. Acesso em: 6 abr. 2023.

POAGUE, Kasandra Isabella Helouise Mingoti *et al.* SIG na seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: estudo de caso em Jundiá–SP. **Revista DAE**, v. 66, n. 213, p. 59-75, 2018. DOI: 10.4322/dae.2018.032. Acesso em: 5 jul. 2023.

QUANTUM GIS (QGIS). **QGIS versão 3.28.6.** Disponível em: <https://download.qgis.org/downloads/>.

ROSA, Roberto. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81-90, 2005. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288>. Acesso em: 6 jul. 2023.

ROSA, Thiago José Lima. **Identificação de potenciais áreas para implantação de aterro sanitário em Pau dos Ferros - RN.** 2023. Disponível em: https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/9346/1/ThiagoJLR_MONO.pdf&hl=pt-BR&sa=T&oi=gsb-gga&ct=res&cd=0&d=17371042683821106362&ei=5D6wZKePL8aMy9YP0rOPqAY&scisig=ABFr3yUMb6p7ru2qFBHDA-sIGRJ. Acesso em: 6 jul. 2023.

SANTOS, Jaqueline Guimarães. A logística reversa como ferramenta para a sustentabilidade: um estudo sobre a importância das cooperativas de reciclagem na gestão dos resíduos sólidos urbanos. **Revista Reuna**, v. 17, n. 2, p. 81-96, 2012. Disponível em: <https://reuna.emnuvens.com.br/reuna/article/view/422>. Acesso em: 5 jul. 2023.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (SEMAD). **Raios de restrição a Terras Quilombolas.** Vektor. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/bfc056d5-d2b0-4c82-b5db-59bf733417a2>.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (SEMAD). **Raios de restrição a terras indígenas.** Vektor. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/e4e645dd-9117-421d-85b4-af960c2b4e4b>.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (SNSA). **Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: guia do profissional em treinamento: nível 2.** Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 120 p. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/projetooperacaoemonitoramentodeaterrossanitarios-nivel2.pdf. Acesso em: 5 jul. 2023.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Série Histórica.** Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>.

SOLIANI, Rodrigo D.; KUMSCHLIES, Márcia CG; SCHALCH, Valdir. A gestão de resíduos sólidos urbanos como estratégia de sustentabilidade. **Revista Espacios**, v. 40, n. 3, p. 9, 2019. Disponível em: <http://revistaespacios.com/a19v40n03/19400309.html>. Acesso em: 5 jul. 2023.

SOWERS, George F. Foundation problems in sanitary land fills. **Journal of the Sanitary**

Engineering Division, v. 94, n. 1, p. 103-116, 1968.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte. Ed. UFMG, 1996.