

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS  
GERAIS - *CAMPUS* AVANÇADO PIUMHI  
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Lucas Nogueira Miele

ESTUDO DE ÁREAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO  
MUNICÍPIO DE PIUMHI-MG

Piumhi - MG

2020

Lucas Nogueira Miele

ESTUDO DE ÁREAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO  
MUNICÍPIO DE PIUMHI-MG

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado ao Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como  
requisito parcial para a obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Me. Humberto Coelho de  
Melo

Piumhi - MG

2020

## FICHA CATALOGRÁFICA

M631e Miele, Lucas Nogueira.

Estudo de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Piumhi-MG / Lucas Nogueira Miele. – 2020.  
67 f.

Orientador: Humberto Coelho de Melo.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* Avançado Piumhi, 2020.

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Geoprocessamento. 3. Aterro sanitário. I. Título.

CDD 363.728

Ficha elaborada pela bibliotecária Andreia Cristina Damasceno - CRB6/1974

Lucas Nogueira Miele

ESTUDO DE ÁREAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO  
MUNICÍPIO DE PIUMHI-MG

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 08 / 04 / 2020 pela banca examinadora:

BANCA EXAMINADORA

DocuSigned by:

*Moisés Furtado Failache*

23F9B4D96A9A40E...

Prof. Dr. Moisés Furtado Failache - USP

DocuSigned by:

*Felipe da Silva Alves*

B22B234F24A743C...

Prof. Dr. Felipe da Silva Alves - IFMG

DocuSigned by:

*Pedro Luiz Teixeira de Camargo*

6B7E3816E99C431...

Prof. Dr. Pedro Luiz Teixeira de Camargo - IFMG

DocuSigned by:

*Thiago Pastre Pereira*

0559332F7D5A4DA...

Prof. Me. Thiago Pastre Pereira - IFMG

DocuSigned by:

*Humberto Coelho de Melo*

73762F977F0043E...

Prof. Me. Humberto Coelho de Melo - IFMG (Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por ter me dado forças nos momentos necessários, paciência nos momentos difíceis e muita persistência. Sem Ele essa caminhada não seria possível.

Aos meus pais a minha eterna gratidão, pela presença e amor incondicional na minha vida sempre. Esse trabalho é a prova de que os incessantes esforços deles para que eu pudesse ter uma ótima educação não foram em vão e valeram a pena.

Agradeço à minha namorada pela compreensão dos muitos dias em que estive distante e, assim mesmo, demonstrou eterno apoio.

Sou grato a todo corpo docente do IFMG Piumhi pelo auxílio durante essa extensa caminhada.

Também agradeço a todos os meus amigos de curso, alguns tornando-se como irmãos em minha vida, pela oportunidade do convívio, pelos vários dias desgastantes de estudo, mas também, pelos dias de descontração e alegria.

Ao meu orientador pelas muitas reuniões e debates para alcançar os objetivos desse trabalho, mas também pelos conselhos e conhecimentos compartilhados, aqui deixo meu agradecimento.

## RESUMO

Os resíduos sólidos urbanos consistem em um grande problema para muitos municípios devido à sua disposição inadequada. Dentre as formas de disposição final de resíduos sólidos, a mais recomendada é o aterro sanitário, pois reduz os danos ou riscos à saúde pública e à segurança, e minimiza os impactos ao meio ambiente. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) muitos municípios mineiros ainda descartam seus resíduos em lixões e aterros controlados, considerados inadequados, e dentre eles está Piumhi. Considerando esse cenário, o estudo tem por objetivo propor um mapa de áreas adequadas para a implantação de um aterro sanitário no município de Piumhi-MG, a partir do uso de ferramentas de geoprocessamento. O trabalho deu-se inicialmente através de revisão bibliográfica e documental para identificar os principais parâmetros para análise de seleção de áreas aptas. Foram considerados os critérios de unidade de conservação, características geotécnicas do solo, distância para os recursos hídricos superficiais, distância dos núcleos populacionais, economia de transporte e declividade. Dessa forma, o primeiro foi considerado como restritivo e os demais tiveram suas notas adotadas pela aplicação de uma matriz. Este método possibilitou pontuar as áreas em faixas de avaliação especificadas e, com o auxílio do QGIS, software de geoprocessamento, pode-se realizar a concepção de mapas para cada critério. Ademais, por meio do programa realizou-se o somatório das pontuações com os respectivos fatores de influência, assim, classificando as áreas em insatisfatórias, boas ou excelentes para a implantação do aterro sanitário, e elaborando o mapa final de seleção de áreas. Esse apontou as regiões central, centro-sul e nordeste do município como áreas excelentes para a instalação do empreendimento, principalmente, devido as baixas declividades, baixa taxa de infiltração e distância adequada dos núcleos populacionais. Além disso, demonstrou uma vasta quantidade de locais com classificação boa, as quais devem ser revisadas para determinar quais os critérios que reduziram sua pontuação e adotar medidas para minimizar ou mitigar esse impacto. Demonstrando que o município possui aptidão para a instalação de um aterro sanitário. Contudo, indica-se estudos futuros sobre a geomorfologia e profundidade dos lençóis freáticos, pois são pontos indispensáveis que não foram abordados na presente pesquisa. Apesar de Piumhi apresentar aptidão para a instalação do aterro sanitário a implantação pode ser dispendiosa, devido ao alto custo inicial podendo ser minimizado pela parceria com os municípios próximos, repartindo os custos e tornando mais municípios aptos a legislação.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos; aterro sanitário; seleção de áreas; geoprocessamento.

## **ABSTRACT**

Municipal solid waste is a major problem for many municipalities due to its inadequate disposal. Among the forms of final disposal of solid waste, the most recommended is the landfill, as it reduces damage or risks to public health and safety, and minimizes impacts on the environment. According to the National Policy for Solid Waste (2010) many municipalities in Minas Gerais still dispose of their waste in dumps and controlled landfills, considered inadequate, and among them is Piumhi. Considering this scenario, the study aims at proposing a map of adequate areas for the implementation of a landfill in the city of Piumhi-MG, from the use of geoprocessing tools. The work was initially done through bibliographic and document review to identify the main parameters for analysis of selection of suitable areas. The criteria of conservation unit, soil geotechnical characteristics, distance to surface water resources, distance from population centers, transportation economy and slope were considered. Thus, the former was considered restrictive and the others had their notes adopted by the application of a matrix. This method made it possible to score the areas in specified evaluation ranges and, with the help of the QGIS, geoprocessing software, the conception of maps for each criterion can be performed. Moreover, through the program the sum of the scores with the respective factors of influence was made, thus classifying the areas in unsatisfactory, good or excellent for the implementation of the landfill, and preparing the final map of selection of areas. This indicated the central, center-south and northeast regions of the municipality as excellent areas for the installation of the enterprise, mainly due to low slopes, low infiltration rate and adequate distance from the population centers. In addition, it demonstrated a large number of sites with good scores, which should be reviewed to determine which criteria reduced its score and adopt measures to minimize or mitigate this impact. Demonstrating that the municipality has the ability to install a landfill. However, future studies on the geomorphology and depth of groundwater are indicated, as these are indispensable points that have not been addressed in this research. Although Piumhi is able to install a landfill, it can be expensive to implement, due to the high initial cost, which can be minimized by partnering with nearby municipalities, sharing the costs and making more municipalities able to comply with legislation.

**Keywords:** urban solid waste; landfill; area selection; geoprocessing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema hierárquico de aplicabilidade do GIRSU.....	17
Figura 2 – Ciclo da Logística Reversa.....	18
Figura 3 – Ilustração de um lixão .....	19
Figura 4 – Ilustração de um aterro controlado.....	20
Figura 5 – Aterro sanitário.....	21
Figura 6 – Incentivos aos municípios para ações consorciadas.....	26
Figura 7 – Gráfico de percentual de municípios com consórcios públicos, segundo as Grandes Regiões e as classes de tamanho da população dos municípios – 2011/2015.....	27
Figura 8 - Principais atividades envolvidas em Geoprocessamento.....	31
Figura 9 – Tecnologias integradas em um SIG .....	32
Figura 10 – Representação vetorial e matricial de um mapa temático .....	32
Figura 11 – Localização do município de Piumhi-MG .....	43
Figura 12 – Limite da área de estudo .....	44
Figura 13 – Mapa de caracterização de UC's presente em Piumhi-MG .....	45
Figura 14 – Mapa de Classificação de Unidades de Conservação .....	46
Figura 15 - Mapa de Caracterização Geotécnica dos Solos .....	47
Figura 16 – Mapa de Classificação da Taxa de Infiltração dos Solos.....	48
Figura 17 – Mapa de Distância para os Recursos Hídricos Superficiais.....	49
Figura 18 – Mapa de Classificação da Distância para os Recursos Hídricos Superficiais.....	50
Figura 19 – Mapa de Distância para os Núcleos Populacionais.....	51
Figura 20 – Mapa de Classificação da Distância para os Núcleos Populacionais.....	52
Figura 21 – Mapa de Distância de Vias.....	53
Figura 22 – Mapa de Classificação da Distância de Vias.....	54
Figura 23 – Mapa de Declividades .....	55
Figura 24 – Mapa Final de Classificação de Áreas no Município de Piumhi-MG .....	56

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Critérios da Matriz de Seleção para Implantação de Aterros Sanitários .....	29
Quadro 2 – Resumo dos pesos atribuídos pelos autores e determinação do peso final dos critérios da matriz de seleção para áreas de implantação de aterros sanitários .....	30
Quadro 3 – Parte da matriz de seleção para área de implantação de aterro sanitário.....	34
Quadro 4 – Critérios para a seleção de área .....	35
Quadro 5 – Critérios descartados.....	36
Quadro 6 – Base de dados utilizada para cada critério.....	36
Quadro 7 – Tipos de Solos e sua Permeabilidade .....	37
Quadro 8 – Notas para cada solo da área em estudo em relação a sua permeabilidade .....	38
Quadro 9 – Notas para a Distância de Vias .....	41
Quadro 10 – Níveis de classificação final das áreas.....	42
Quadro 11 – Recomendação para reformular as notas para a distância de vias.....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APP	Área de Preservação Permanente
ARL	Área de Reserva Legal
CICANASTRA	Consórcio Intermunicipal da Serra da Canastra Alto São Francisco e Médio Rio Grande
CIMARES	Consórcio Intermunicipal de Manejo de Resíduos Sólidos da Microrregião de Piumhi
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho de Política Ambiental
DN	Deliberação Normativa
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
GIRSU	Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDE-SISEMA	Infraestrutura de Dados Espaciais Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MDE	Modelo Digital de Elevação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSC	Parque Nacional da Serra da Canastra
PVC	Policloreto de Polivinila
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
UC	Unidades de Conservação
UTM	Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
3.1	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	16
3.1.1	Definição .....	16
3.1.2	Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos.....	16
3.1.3	Formas de Disposição de Resíduos Sólidos.....	18
3.2	LEGISLAÇÕES QUE REGEM OS ATERROS SANITÁRIOS .....	22
3.2.1	Lei Nº 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) .....	22
3.2.2	Decreto Nº 7.404/2010 – Regulamenta a Lei Nº 12.305/2010 .....	22
3.2.3	Lei Nº 18.031/2009 – Política Estadual de Resíduos Sólidos.....	23
3.2.4	Deliberação Normativa do Conselho de Política Ambiental (COPAM) Nº 52/2001 .....	23
3.2.5	Deliberação Normativa COPAM Nº 118/2008.....	23
3.2.6	Lei Estadual Nº 20.922/2013 .....	24
3.3	OPERAÇÕES URBANAS CONSORCIADAS .....	25
3.4	CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DE ÁREA DE UM ATERRO SANITÁRIO ...	28
3.5	GEOPROCESSAMENTO .....	31
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>33</b>
4.1	ASPECTOS GERAIS .....	33
4.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	33
4.3	FUNCIONAMENTO DA MATRIZ.....	33
4.4	OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES .....	35
4.5	PROCESSAMENTO DOS DADOS .....	36
4.5.1	Unidades de Conservação .....	37
4.5.2	Características Geológicas .....	37
4.5.3	Distância para os Recursos Hídricos Superficiais.....	38
4.5.4	Distância dos Núcleos Populacionais .....	39
4.5.5	Distância de Vias .....	40
4.5.6	Clinografia (Declividade) .....	41

4.5.7	Mapa Final .....	41
<b>5</b>	<b>ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>43</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	43
5.2	UNIDADES DE CONSERVAÇÃO.....	44
5.3	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.....	46
5.4	DISTÂNCIA PARA OS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS .....	48
5.5	DISTÂNCIA DOS NÚCLEOS POPULACIONAIS.....	50
5.6	DISTÂNCIA DE VIAS .....	52
5.7	CLINOGRAFIA (DECLIVIDADE).....	55
5.8	ANÁLISE SISTÊMICA .....	56
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>
	<b>APÊNDICE A – MAPA FINAL DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS NO MUNICÍPIO DE PIUMHI-MG .....</b>	<b>63</b>
	<b>ANEXO A – MATRIZ DE SELEÇÃO PARA ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos fatores primordiais para que um país alcance o posto de desenvolvido é possuir saneamento básico, o qual tem por objetivo garantir a saúde e o bem-estar da população. O saneamento básico contempla o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, a limpeza urbana e o manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente (BRASIL, 2007).

A sociedade atual tem intrínseca em sua personalidade o desejo ao consumo exacerbado, o que remete que cada vez mais o aumento de resíduos e, conseqüentemente, acarreta um crescente montante descartado. Este aumento associado à gestão inadequada de resíduos sólidos em muitas cidades, pode causar: a contaminação e degradação do solo, a proliferação de vetores causadores de doenças, a poluição atmosférica oriunda de material particulado e poluição hídrica, resultando em desvalorização imobiliária e até mesmo afetar negativamente a economia do município.

O aumento do volume de resíduos sólidos associados à disposição inadequada dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) pode provocar a poluição e a degradação ambiental. Dentre os principais poluentes tem-se o chorume que “é um líquido que apresenta características de altas cargas de contaminantes orgânicos e inorgânicos e sendo assim, representam uma fonte de poluição significativa, seja em grandes centros ou pequenos aglomerados urbanos” (FREIRE, 2009, p. 27). E ainda, há nesses locais, a aglomeração de catadores que sobrevivem das matérias-primas ali descartadas, assim, estando expostas diretamente ao risco de doenças.

Desse modo, é fundamental dispor os resíduos de maneira adequada afim de evitar os problemas já supracitados. Dentre as formas aplicadas no país, os lixões são os mais usuais, entretanto, é a forma inadequada de dispor os RSU's sobre o solo, pois não possuem “nenhuma impermeabilização, sem sistema de drenagem de lixiviados e de gases e sem cobertura diária do lixo, causando impactos à saúde pública e ao meio ambiente” (ELK, 2007, p. 24). Para isso, faz-se necessário à disposição em aterros sanitários, que é uma técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, a qual reduz os possíveis danos ou riscos à saúde pública e à segurança, além de minimizar os impactos ambientais. Segundo Portella e Ribeiro (2014, p. 122), o aterro sanitário consiste em:

Grandes valas rasgadas no solo e subsolo que passam por um processo de impermeabilização com aplicação de uma camada de argila de baixa textura que é compactada para reduzir a porosidade e aumentar sua capacidade impermeabilizante. Sobre essa primeira camada, é colocado um lençol plástico e, sobre esse, uma segunda camada de argila é aplicada e novamente compactada. Sobre essa última camada de argila são instalados drenos para fluir a retirada de gases e líquidos gerados pela

decomposição dos resíduos orgânicos. Por fim, o resíduo orgânico será depositado sobre essa segunda camada de argila, compactando e isolando o meio ambiente por meio de outra camada de saibro, entulho de demolição, argila ou até mesmo terra.

É sabido que a construção, operação e manutenção de um aterro sanitário possui grandes dificuldades que vão desde a seleção de áreas para construção, pois devem atender a critérios mínimos que impeçam a contaminação do solo e águas na vizinhança do empreendimento. Além do alto custo de construir e manter um empreendimento deste porte para cidades com limitada renda, como são as do Brasil. Todavia, a sua construção é fundamental para reduzir o impacto ambiental de materiais não recicláveis, diminuir a liberação de gases poluentes na atmosfera e ainda poder gerar energia renovável (Biogás).

A implementação de um aterro sanitário é baseada em diversas etapas, desde a seleção de áreas mais adequadas para a sua construção, como etapas relacionadas a aspectos construtivos, de operação, monitoramento e fechamento do aterro. A escolha da área é uma etapa fundamental para a implementação do aterro sanitário, pois a seleção adequada deve conter “a baixa densidade populacional em seu entorno, a distância de corpos de água, o baixo custo do terreno, a proximidade a vias de acesso, o baixo potencial de contaminação das águas superficiais e subterrâneas e um subsolo com alto teor de argila” (CETESB, 2016, p. 01). Dessa forma, diminuindo os custos inerentes aos processos de adequação, obtenção de áreas e reparação.

A seleção adequada ainda esbarra na baixa disponibilidade de dados, pois alguns sofrem alterações ao longo dos anos, como exemplo, os núcleos populacionais e as vias de acesso, além da dificuldade de encontrar fontes consistentes por falta de pesquisas aplicadas. Entretanto, nos tempos atuais existe os mapas temáticos criados através de dados georreferenciados que são uma excelente fonte dados, os quais aliados ao assunto de seleção de áreas aptas traz grandes avanços na interpretação e criação de informações sobre os critérios de análise e os parâmetros de avaliação.

Segundo o programa “Minas sem lixões” (FEAM, 2018), no ano de 2017, 223 municípios ainda descartavam seus resíduos sólidos em lixões e 196 em aterros controlados, o que corresponde há cerca de 49% dos municípios mineiros. O município de Piumhi, localizado na região Centro-Oeste de Minas Gerais (MG) se enquadra nos que ainda dispõem seus resíduos de maneira inadequada em aterro controlado.

Neste sentido, esse estudo visou produzir informações por meio de dados preexistentes e ferramentas de geoprocessamento que possibilitaram elaborar um mapa de áreas mais aptas para a implementação de um aterro sanitário no município de Piumhi. Esse mapa

servirá como um instrumento de planejamento territorial, subsidiando as políticas públicas e os gestores, buscando reduzir custos de implantação, assim como minimizar os impactos ambientais oriundos do referido empreendimento.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Aplicar método de pontuação e seleção para a identificação de áreas adequadas para a implantação do aterro sanitário no município de Piumhi-MG.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Conceituar Resíduos Sólidos Urbanos (RSU);
- Definir critérios para análise parcial de áreas para a implantação de aterro sanitário;
- Elaborar mapas temáticos dos componentes do meio físico e antrópico.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Resíduos Sólidos Urbanos

##### 3.1.1 Definição

A Norma ABNT NBR 10.004 (2004, p. 07), define como resíduos sólidos:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, 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.

A Lei nº 12.305, a qual institui a PNRS, conceitua resíduos sólidos em seu Art. 3º, § 16º (2010, p. 02), como:

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.

Para fins de caracterizar de forma mais específica, a Resolução CONAMA Nº 308 (2002, p. 01), considera como RSU, “os provenientes de residências ou qualquer outra atividade que gere resíduos com características domiciliares, bem como os resíduos de limpeza pública urbana”.

##### 3.1.2 Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos

Anteriormente à criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) a gestão dos resíduos sólidos no Brasil era encargo da administração pública, ou seja, impunha as regras e custeava a reciclagem, coleta e destinação final dos resíduos. Assim, havendo pouco envolvimento da iniciativa privada devido a elevada burocracia. Porém, com a validação da lei que incentiva a responsabilidade compartilhada houve uma quebra da hierarquia da iniciativa pública. Para efeito de entendimento a Lei Federal nº 12.305 em seu Art. 3º (2010, p. 02) define:

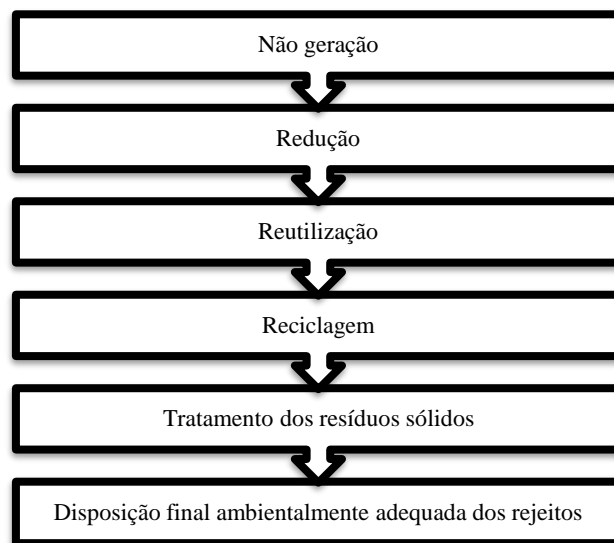
XVII - responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos: conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à

saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei.

Para isso, deve ser elaborado o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), o qual é uma análise minuciosa do município e da situação dos resíduos sólidos. Tem por finalidade determinar, de acordo com a situação da localidade, um conjunto de metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, e ainda, os mecanismos de fiscalização e controle que serão empregados. Além disso, também é obrigatório discriminar as ações a curto, médio e longo prazo, que devem ponderar as características locais e da população, os tipos de resíduos gerados ali e, conseqüentemente, as categorias de tratamento estipulados e disposição final adequada para com as leis.

A gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos têm por obrigação manter a escala de hierarquia, descrita na Lei Federal nº 12.305, como mostra a Figura 1. Ou seja, o foco é diminuir/extinguir a geração de produtos novos e, caso não seja possível, deve ser feita a reutilização e/ou reciclagem e, ao final, quando não houver mais utilização comprovada, deve ser realizado o tratamento e, por fim, o descarte ambientalmente correto do rejeito.

Figura 1 – Esquema hierárquico de aplicabilidade do GIRSU



Fonte: Adaptado de PNRS (2010, p. 03).

Para auxiliar a efetividade da gestão integrada a PNRS impõe a utilização dos instrumentos de coleta seletiva e logística reversa. Definidos pela PNRS Art. 3º (2010, p. 1-2), como:

V - Coleta seletiva: coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição;

XII - Logística reversa: instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para

reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

Dessa forma, pode-se comprovar que tais instrumentos estão relacionados, ou seja, a coleta seletiva é considerada a primeira etapa da logística reversa, pois para o material descartado retornar de forma apropriada para o processo produtivo é necessária uma coleta bem executada. Portanto, a logística reversa não pode existir sem a coleta seletiva. A Figura 2 demonstra o ciclo da logística reversa e a importância de cada etapa que a compõe, como a coleta e seleção do lixo.

Figura 2 – Ciclo da Logística Reversa



Fonte: Rodrigues (2018, p. 01).

### 3.1.3 Formas de Disposição de Resíduos Sólidos

A aplicação da logística reversa é um instrumento de desenvolvimento econômico e social determinado por um conjunto de ações, procedimentos e meios que se possa tornar viável a coleta e a restituição dos resíduos sólidos às empresas, de modo que o reaproveitamento seja feito no próprio ciclo do resíduo ou em outros ciclos produtivos (BRASIL, 2010). Porém, ainda que essa prática se espalhasse a nível federal, englobando todos os municípios, o final do processo pode resultar em rejeitos, que são “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, p. 02).

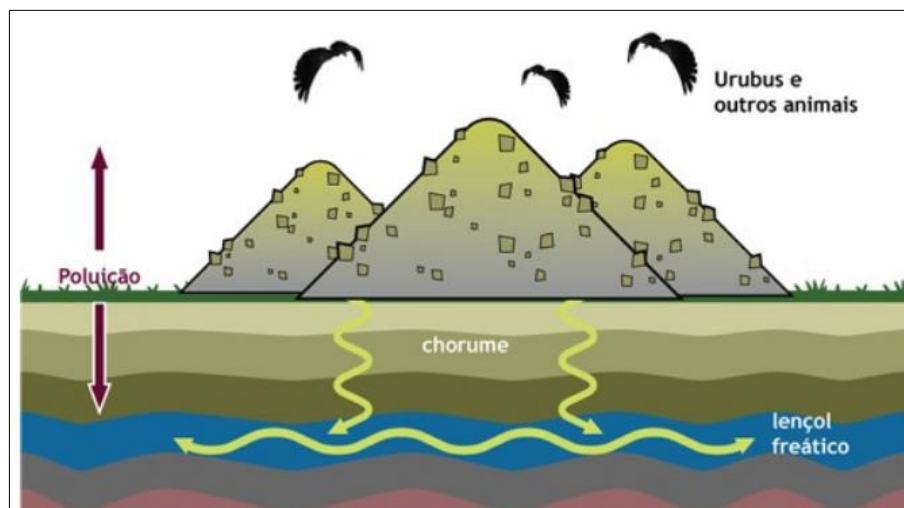
Dentre os vários tipos de disposição final de resíduos sólidos, há três que as englobam de maneira geral:

a) Lixão

Segundo o manual de gerenciamento integrado lixão ou vazadouro é “uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos municipais, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública” (IPT, 2018, p. 266).

Tal forma de descarte é ilegal segundo a PNRS, pois por não possuir um preparativo precedente do solo e inexistência de um tratamento para o chorume, esse líquido percola pelo solo contaminando-o e atingindo o lençol freático causando grande poluição como demonstrado na Figura 3, assim, gerando um risco ao meio ambiente e saúde da população.

Figura 3 – Ilustração de um lixão



Fonte: VIASOLO (2017, p. 01).

b) Aterro controlado

O manual de gerenciamento integrado de 2018, explica o que é um aterro controlado e como se dá seu funcionamento:

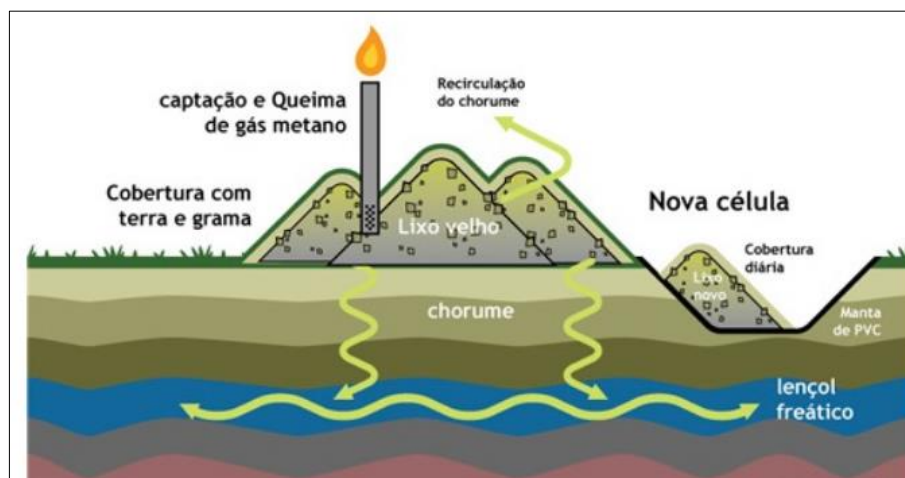
É uma técnica de disposição de resíduos sólidos municipais no solo sem causar danos ou riscos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Esse método utiliza alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho.

Esta forma de disposição produz poluição, porém localizada, pois, similarmente ao aterro sanitário, a área de disposição é minimizada. Geralmente, não dispõe de impermeabilização de base (comprometendo a qualidade das águas subterrâneas) nem de sistemas de tratamento do percolato (termo empregado para caracterizar a mistura

entre o chorume, produzido pela decomposição do lixo, e a água de chuva que percola o aterro) ou do biogás gerado (IPT, 2018, p. 243-244).

Esse é um método mais aconselhável do que o lixão, pois ao realizar o cobrimento do resíduo descartado impede a exposição e, assim, diminui a proliferação de doenças, insetos e animais que são atraídos pelo lixo (IPT, 2018). Todavia, ainda é causador de grandes problemas ambientais, pois não efetua o tratamento do resíduo descartado, não dispõe de nenhuma impermeabilização do solo e nem tratamento dos gases gerados na decomposição, comprometendo a qualidade do solo, do lençol freático e do ar, como caracterizado pela Figura 4.

Figura 4 – Ilustração de um aterro controlado



Fonte: VIASOLO (2017, p.01).

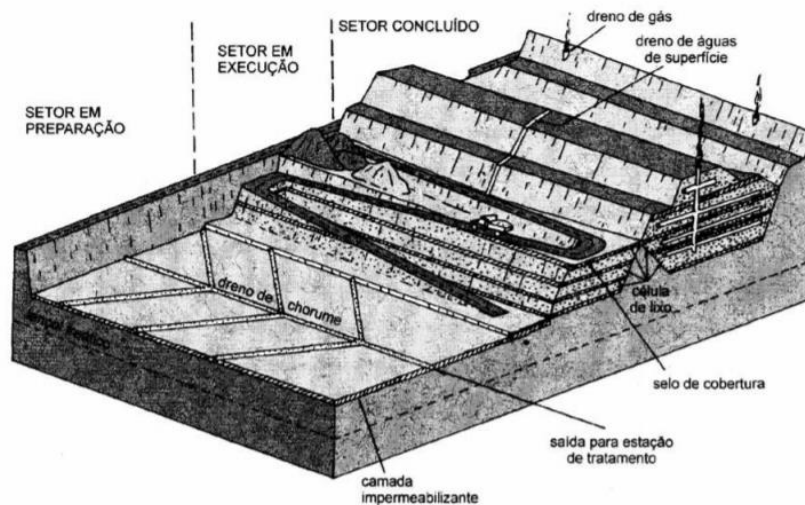
Apesar de ser um empreendimento mais adequado, não atende às recomendações da PNRS, principalmente tendo em vista a questão ambiental, pois não fornece nenhuma proteção para o solo, assim, favorecendo a contaminação do local. Logo, é uma prática que deve ser abolida dos municípios.

#### c) Aterro sanitário

O aterro sanitário, ilustrado na Figura 5, segundo o manual de gerenciamento integrado (IPT, 2018, p. 244) é descrito como:

[...] um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente lixo domiciliar que, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite um confinamento seguro em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública. Outra definição o apresenta como 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.

Figura 5 – Aterro sanitário



Fonte: IPT (2018, p. 244).

A base do aterro é composta por um sistema de drenagem para o chorume, além de possuir uma camada impermeável de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) sobre uma camada de solo compactado afim de evitar o vazamento do líquido. Além disso, também conta com sistemas de drenagem de gases, permitindo a coleta do biogás que pode ser aproveitado para a geração de energia, e pluvial, para minimizar a infiltração da água da chuva no aterro. Deve conter um controle da quantidade de resíduos que entra no local para seu funcionamento correto. Os resíduos farão parte de uma célula que são os depósitos, podendo existir células para diferentes tipos de resíduos (ex.: domiciliar, hospitalar, etc.), e que devem ter o isolamento superior realizado diariamente (VG RESÍDUOS, 2018).

Entretanto, segundo Portella e Ribeiro (2014, p. 122):

O sistema de aterro sanitário precisa ser associado à coleta seletiva de lixo para reciclagem, o que permite que sua vida útil seja dilatada, além do aspecto altamente positivo de se implantar uma Educação Ambiental, desenvolvendo coletivamente uma consciência ecológica, resultando na maior participação da comunidade na defesa e preservação do meio ambiente.

Dessa forma, o projeto de um aterro sanitário é parte fundamental do Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (GIRSU), em conjunto com as práticas da coleta seletiva, educação ambiental e redução do consumo por parte da sociedade.

## 3.2 Legislações que regem os Aterros Sanitários

### 3.2.1 Lei Nº 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

Essa lei foi instituída na data de 02 de agosto de 2010, e têm por objetivo principal combater os problemas ambientais, sociais e econômicos ocasionados devido ao manejo inadequado dos resíduos sólidos. Para isso, a PNRS em seu âmbito, concebe alguns instrumentos fundamentais para auxiliar nessa luta.

Prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado).

Institui a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos: dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, o cidadão e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos na Logística Reversa dos resíduos e embalagens pós-consumo e pós-consumo.

Cria metas importantes que irão contribuir para a eliminação dos lixões e institui instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, microrregional, intermunicipal e metropolitano e municipal; além de impor que os particulares elaborem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

Também coloca o Brasil em patamar de igualdade aos principais países desenvolvidos no que concerne ao marco legal e inova com a inclusão de catadoras e catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis, tanto na Logística Reversa quando na Coleta Seletiva (BRASIL, 2010, p. 01).

### 3.2.2 Decreto Nº 7.404/2010 – Regulamenta a Lei Nº 12.305/2010

O decreto tem por disposição:

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 (BRASIL, 2010, p. 01).

Um ponto importante é a implantação da logística reversa, definida pelo Decreto nº 7.404, como:

[...] instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado pelo conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010, p. 04).

Esse instrumento, associado a obrigatoriedade da coleta seletiva, é um conjunto essencial para atingir a meta imposta pela Lei 12.305/2010 e prorrogada pelo Parecer nº 385/2015 ao prazo máximo, 31 de julho de 2021, para os municípios que contam com população inferior a cinquenta mil habitantes de acordo com o Censo de 2010.

### 3.2.3 Lei Nº 18.031/2009 – Política Estadual de Resíduos Sólidos

Essa lei instaura princípios, diretrizes, objetivos e instrumentos para tentar alcançar o manejo adequado dos resíduos sólidos no estado de Minas Gerais. Além disso, dispõe em seu artigo décimo sétimo as formas proibidas de destinação dos resíduos sólidos.

Art. 17 - São proibidas as seguintes formas de destinação dos resíduos sólidos:

I - lançamento "in natura" a céu aberto, sem tratamento prévio, em áreas urbanas e rurais;

II - queima a céu aberto ou em recipientes, instalações ou equipamentos não licenciados para esta finalidade, salvo em caso de decretação de emergência sanitária e desde que autorizada pelo órgão competente;

III - lançamento ou disposição em lagoa, curso d'água, área de várzea, cavidade subterrânea ou dolina, terreno baldio, poço, cacimba, rede de drenagem de águas pluviais, galeria de esgoto, duto condutor de eletricidade ou telefone, mesmo que abandonados, em área sujeita a inundação e em área de proteção ambiental integral (MINAS GERAIS, 2009, p. 12).

### 3.2.4 Deliberação Normativa do Conselho de Política Ambiental (COPAM) Nº 52/2001

Essa deliberação “convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistema adequado de disposição final de lixo e dá outras providências” (MINAS GERAIS, 2001, p. 01). Também emprega em seu artigo segundo uma obrigação a todos os municípios do Estado de Minas Gerais.

Ficam todos os municípios do Estado de Minas Gerais, no prazo máximo de 6 (seis) meses, contados a partir da data da publicação desta Deliberação, obrigados a minimizar os impactos ambientais nas áreas de disposição final de lixo, devendo implementar os seguintes requisitos mínimos, até que seja implantado, através de respectivo licenciamento, sistema adequado de disposição final de lixo urbano de origem domiciliar, comercial e pública (MINAS GERAIS, 2001, p. 02).

Além disso, determina que “as Prefeituras Municipais deverão dar prioridade à implementação de tais sistemas por meio da constituição de consórcios intermunicipais” (MINAS GERAIS, 2001, p. 03), para melhorar o uso de áreas e redução dos custos de implantação e operação dos sistemas de disposição final dos resíduos sólidos.

### 3.2.5 Deliberação Normativa COPAM Nº 118/2008

Esta deliberação normativa “altera os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa 52/2001, estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado, e dá outras providências” (MINAS GERAIS, 2008, p. 01). Dessa forma, considerando que a Deliberação Normativa (DN) nº 52 tenha obtido êxito satisfatório e “o número de municípios que adotam lixão como alternativa para disposição final dos resíduos

sólidos urbanos reduziu em mais de 35% no período de 2001 a 2006” (MINAS GERAIS, 2008, p. 01), fez-se pertinente ampliar e aprimorar a definição dos requisitos mínimos na DN 52.

Para efeito dessa DN ficam estabelecidos requisitos mínimos a serem implementados antes de ser implantado o sistema correto de disposição final, os quais estão definidos como:

- I – a localização da área não poderá ocorrer, em nenhuma hipótese, em áreas erodidas, em especial em voçorocas, em áreas cársticas ou em Áreas de Preservação Permanente – APP;
- II – localização em área com solo de baixa permeabilidade e com declividade média inferior a 30%;
- III – localização em área não sujeita a eventos de inundação, situada a uma distância mínima de 300 metros de cursos d’água ou qualquer coleção hídrica.
- IV – localização em área situada a uma distância mínima de 500 metros de núcleos populacionais;
- V – localização em área com distância mínima de 100 metros de rodovias e estradas, a partir da faixa de domínio estabelecida pelos órgãos competentes;
- VI – implantação de sistema de drenagem pluvial em todo o terreno, de modo a minimizar o ingresso das águas de chuva na massa de lixo aterrado e encaminhamento das águas coletadas para lançamento em estruturas de dissipação e sedimentação;
- VII – realização de recobrimento do lixo com terra, de acordo com a frequência abaixo:
  - a) municípios com população urbana inferior a 5.000 habitantes – no mínimo uma vez por semana;
  - b) municípios com população urbana entre 5.000 e 10.000 habitantes – no mínimo duas vezes por semana;
  - c) municípios com população urbana entre 10.000 e 30.000 habitantes – no mínimo três vezes por semana;
  - d) municípios com população urbana acima de 30.000 habitantes – recobrimento diário.
- VIII – manutenção de boas condições de acesso à área do depósito de lixo;
- IX – a área do depósito de lixo deverá ser isolada com cerca, preferencialmente complementada por arbustos ou árvores, e possuir portão na entrada, de forma a dificultar o acesso de pessoas e animais, além de possuir placa de identificação e placa de proibição de entrada e permanência de pessoas estranhas;
- X – proibição da permanência de pessoas no local para fins de catação de materiais recicláveis, recomendando-se que a Prefeitura Municipal crie alternativas adequadas sob os aspectos técnicos, sanitários e ambientais para a realização das atividades de triagem de materiais, de forma a propiciar a manutenção de renda para as pessoas que sobrevivem dessa atividade, prioritariamente, pela implantação de programa de coleta seletiva em parceria com os catadores;
- XI – Proibição de disposição no depósito de resíduos sólidos urbanos de pneumáticos e baterias;
- XII – Proibição de uso de fogo em depósito de resíduos sólidos urbanos (MINAS GERAIS, 2008, p. 02-04).

### 3.2.6 Lei Estadual Nº 20.922/2013

Essa lei “dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado” (MINAS GERAIS, 2013, p. 01).

Para este trabalho, faz-se necessário possuir conhecimento na Lei Estadual Nº 20.922 de 2013, sobre o Capítulo II – Das Áreas de Uso Restrito, em que são definidas e caracterizadas tais áreas, sendo elas:

Áreas de Preservação Permanente (APP's): Considera-se APP a área, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;

Áreas de Reserva Legal (ARL's): Considera-se Reserva Legal a área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos desta Lei, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e da biodiversidade, abrigar a fauna silvestre e proteger a flora nativa;

Unidades de Conservação (UC's): Entende-se por Unidade de Conservação o espaço territorial e seus recursos naturais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo poder público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção;

Outras Restrições de Uso do Solo (MINAS GERAIS, 2013, p. 03, 06 e 09).

### 3.3 Operações Urbanas Consorciadas

A PNRS ordenou o fim dos lixões e aterros controlados, com o objetivo de os municípios destinarem seus resíduos para aterros sanitários. Todavia, os elevados custos de implantação e manutenção de tal empreendimento acabam por inviabilizá-lo, assim, podendo estar relacionado a possível causa da disposição inadequada dos resíduos sólidos em municípios de pequeno porte, os quais compreendem a maioria do Brasil (PERALTA e ANTONELLO, 2015).

Uma alternativa viável para esses locais se adequarem às obrigações impostas pela PNRS é a constituição de consórcios intermunicipais. Segundo a publicação “Consórcios Públicos Intermunicipais: Uma alternativa à gestão pública” os consórcios públicos intermunicipais:

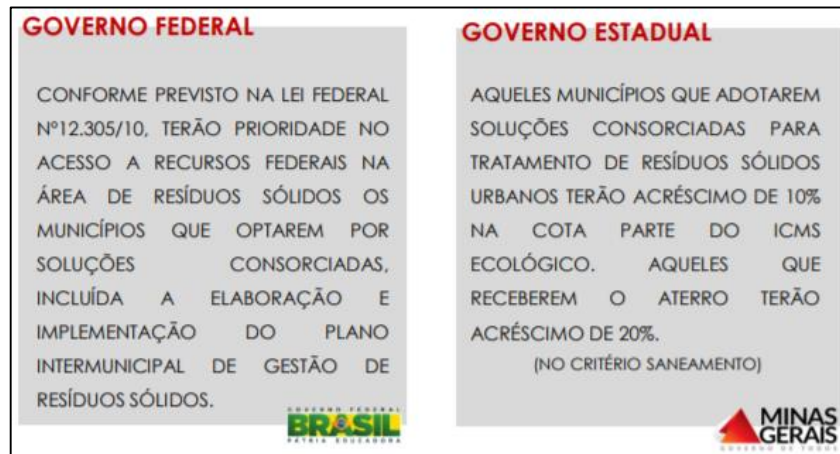
[...] despontam como uma alternativa de fortalecimento e integração dos governos locais a partir da colaboração recíproca para a consecução de fins convergentes que não se solucionariam pela atuação isolada dos Municípios.

Os consórcios públicos intermunicipais trazem consigo inovações na gestão que propiciam a execução de serviços e políticas públicas com maior eficiência, agilidade, transparência, assim como racionaliza e otimiza o uso dos recursos públicos (CNM, 2016, p. 10-11).

De acordo com a Cartilha de Orientações – Consórcios Públicos para Gestão de Resíduos Sólidos, “para o caso de resíduos sólidos, a opção pelo consorciamento permite a adoção de soluções compartilhadas de longo prazo entre municípios vizinhos, com menor custo e maior potencial de sustentabilidade, possibilitando economia de escala” (FEAM, 2016, p. 03).

Além disso, o Governo Estadual e o Governo Federal geraram meios de incentivar os consórcios públicos na área de resíduos sólidos entre os municípios, os quais estão descritos na Figura 6.

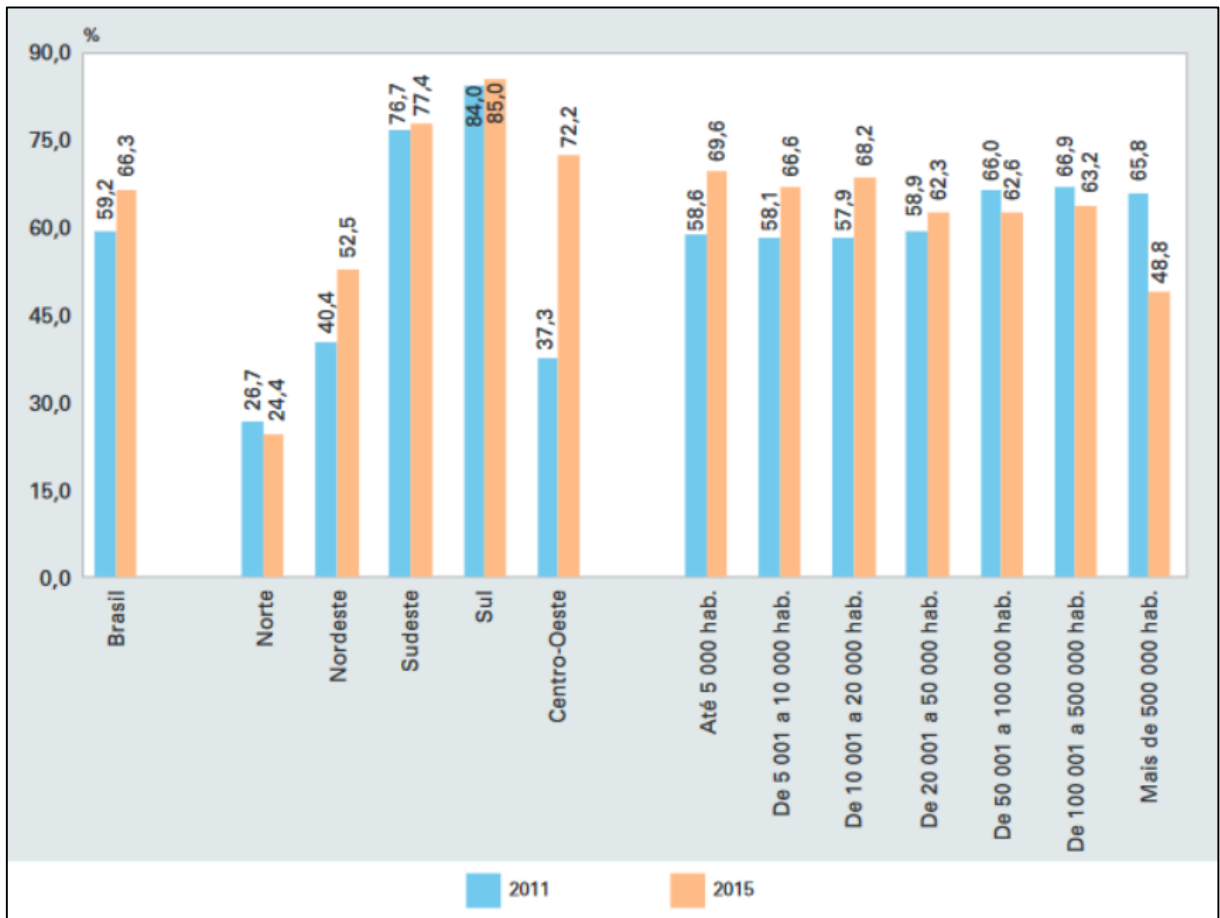
Figura 6 – Incentivos aos municípios para ações consorciadas



Fonte: FEAM (2016, p. 03).

Com isso, pode-se notar a importância em apoiar tal iniciativa para os pequenos municípios, pois com essa união eles podem fornecer para sua população as condições mínimas de saúde e proteção ao meio ambiente. Ao analisar a Figura 7, consegue-se notar que o comparativo de 2011 a 2015 demonstra a evolução no percentual de consórcios públicos entre municípios com população até 50.000 habitantes.

Figura 7 – Gráfico de percentual de municípios com consórcios públicos, segundo as Grandes Regiões e as classes de tamanho da população dos municípios – 2011/2015



Fonte: IBGE (2016, p. 38).

Piumhi está ligado ao CICANASTRA, que atualmente conta com a participação de 33 municípios. Entretanto, no ano de 2013, sua fundação, possuía a associação dos municípios de Piumhi, Capitólio, São Roque de Minas, Vargem Bonita, Doresópolis, Pains, Pimenta e Córrego Fundo, e se denominava CIMARES, o qual tinha por objetivo apenas a questão dos resíduos sólidos (CICANASTRA, 2013).

No ano de 2014, devido ao aumento da demanda, viu-se a necessidade de aumentar a abrangência do consórcio somando saneamento básico, meio ambiente, segurança alimentar, entre outros, assim, passando a se denominar CICANASTRA (CICANASTRA, 2013). Dessa forma, “o município faz a sua adesão ao programa que lhe interessar, no momento em que lhe convir, de acordo com a sua demanda. A partir do momento em que fizer alguma adesão à algum destes programas é feito um contrato de rateio proporcional à sua demanda” (CICANASTRA, 2013, p. 01).

### 3.4 Critérios para a Seleção de Área de um Aterro Sanitário

A seleção de áreas para a implementação de um aterro sanitário exige uma metodologia complexa devido à grande gama de elementos necessários de serem analisados, dentre esses podemos elencar três grandes grupos, sendo eles: o meio físico, o biótico e o antrópico. Dessa forma, as exigências são altas e envolvem muitas variáveis, pois além de possuir uma legislação burocrática, também envolve forte oposição em uma parcela da população. Entretanto, a definição de uma área adequada para locação do aterro sanitário é de extrema importância, pois o mesmo resolve uma fração dos problemas causados pelo excesso de lixo gerado nos centros urbanos, em foco, na mitigação de danos à saúde pública e ao meio ambiente (SILVA, 2011).

Um projeto de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos deve conter as seguintes partes: memorial descritivo, memorial técnico, cronograma de execução e estimativa de custos, desenhos e eventuais anexos (ABNT, 1992). No memorial descritivo há uma das partes obrigatórias que é a caracterização do local destinado ao aterro sanitário e, para tal, são considerados a localização e caracterização topográfica, caracterização geológica e geotécnica e critérios básicos para a seleção, esse último que engloba os seguintes itens descritos na NBR 8419/1992 (ABNT, 1992):

- Zoneamento ambiental;
- Zoneamento urbano;
- Acessos;
- Vizinhança;
- Economia de transporte;
- Titulação da área escolhida;
- Economia operacional do aterro sanitário (jazida, etc.);
- Infraestrutura urbana;
- Bacia e sub-bacia hidrográfica onde o aterro sanitário se localizará.

Portanto, devido a quantidade de aspectos necessários apenas para caracterizar o local de implantação, muitos pesquisadores e instituições estão desenvolvendo métodos para facilitar a seleção de áreas (LINO, 2007).

Um método produzido e proposto por Silva (2011) foi a criação de uma matriz para a seleção da área de implantação de aterro sanitário. Tal estudo deu-se através de pesquisa bibliográfica, em que foi analisado os critérios necessários para a seleção da região de um aterro sanitário de RSU. Para isso, foi-se realizado uma busca por trabalhos que demonstrassem esses

critérios, dando ênfase nos de forma tabulada, assim, podendo realizar uma listagem dos parâmetros mais citados pelos autores e definir os que formariam a matriz final (SILVA, 2011). Dessa forma, foi selecionado os seguintes critérios como demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Critérios da Matriz de Seleção para Implantação de Aterros Sanitários

Critérios de Seleção	Sigla
Características geotécnicas do solo	CGS
Distância para os recursos hídricos superficiais	DRHSup
Distância para os recursos hídricos subterrâneos	DRHSub
Potencial hídrico	PH
Fauna e Flora	FF
Titulação de área	TA
Distância dos núcleos populacionais	DNP
Legislação municipal	LM
Economia de transporte	ET
Vida útil	VU
Espessura do solo	ES
Disponibilidade de infraestrutura	DI
Clinografia (declividade)	C

Fonte: Adaptado de Silva (2011, p. 50).

Com isso, quatro trabalhos foram selecionados para embasar o estudo. Todos demonstravam os critérios com pontuações, que serviriam para referenciar os pesos atribuídos individualmente.

Por conseguinte, elencou-se em quadros individuais os critérios e pesos, transformados em porcentagem, para possibilitar a comparação entre os mesmos e, por fim, realizou-se um quadro resumo com o cálculo da média dos respectivos percentuais e o peso final, o qual foi obtido de acordo com a sua relevância para a seleção de áreas para aterro sanitário. O Quadro 2 demonstra esses dados.

Quadro 2 – Resumo dos pesos atribuídos pelos autores e determinação do peso final dos critérios da matriz de seleção para áreas de implantação de aterros sanitários

Comparação entre os pesos dos autores e determinação do peso final da matriz						
Critério de seleção	Massunari (2000)	Monteiro e Zveibil (2001)	Gomes (2003)	Correa e Lança (2008)	Média entre autores	% atribuída na matriz
<b>Critérios Ambientais</b>						
Características geotécnicas do solo - CGS	9,09%	3,45%	11,54%	18,75%	10,71%	11,00%
Distância para os recursos hídricos superficiais - DRHSup	Não Contempla	11,49%	11,54%	18,75%	10,45%	11,00%
Distância para os recursos hídricos subterrâneos (lençol freático) - DRHSub	Não Contempla	11,49%	11,54%	18,75%	10,45%	11,00%
Potencial hídrico - PH	Não Contempla	3,45%	11,54%	18,75%	8,44%	9,00%
Fauna e flora - FF	15,15%	Não Contempla	11,54%	Pontuação caso a caso	8,90%	9,00%
<b>Critérios de Uso e Ocupação do Solo</b>						
Titulação da área - TA	3,03%	4,60%	Cita no trabalho, mas não pontua	Cita no trabalho, mas não pontua	3,82%	4,00%
Distância dos núcleos populacionais - DNP	9,09%	25,29%	3,85%	6,25%	11,12%	11,00%
Legislação municipal - LM	Não Contempla	Não Contempla	Pontuação caso a caso	Pontuação caso a caso	—	Pontuação caso a caso
<b>Critérios Operacionais</b>						
Economia de transporte - ET	30,30%	1,15%	3,85%	6,25%	10,39%	11,00%
Vida útil - VU	15,15%	3,45%	Cita no trabalho, mas não pontua	Não Contempla	6,20%	7,00%
Espessura do solo - ES	9,09%	3,45%	7,69%	6,25%	6,62%	7,00%
Disponibilidade de Infraestrutura - DI	6,06%	4,60%	Não Contempla	Não Contempla	2,67%	3,00%
Clinografia - C	Cita no trabalho, mas não pontua	5,75%	3,85%	6,25%	5,28%	6,00%

Fonte: Adaptado de Silva (2011, p. 54).

A partir desse estudo pôde-se elaborar uma matriz para a seleção de áreas demonstrada no Anexo A, a qual possibilita o preenchimento das devidas pontuações para cada critério, bem como, a atribuição do peso respectivo como citado no Quadro 2. Essa matriz permite apresentar a melhor localização para implantação do empreendimento através da soma dos valores individuais, logo, a opção com a maior pontuação será a mais adequada (SILVA, 2011).

### 3.5 Geoprocessamento

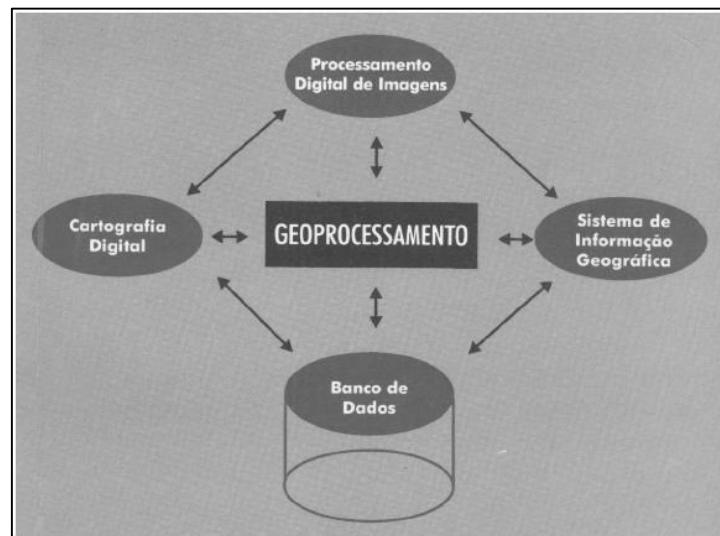
O termo geoprocessamento tem ganho grande espaço na área profissional por demonstrar evolução ao decorrer dos anos apresentando novas tecnologias. Essas tecnologias utilizam-se de informações referenciadas espacialmente na superfície terrestre.

Segundo Rosa (2013, p. 59):

O geoprocessamento pode ser definido como sendo o conjunto de tecnologias destinadas a coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação. Em linhas gerais o termo geoprocessamento pode ser aplicado a profissionais que trabalham com cartografia digital, processamento digital de imagens e sistemas de informação geográfica. Embora estas atividades sejam diferentes elas estão intimamente inter-relacionadas, usando na maioria das vezes as mesmas características de hardware, porém software distinto.

Portanto, o conceito de geoprocessamento consiste em várias atividades distintas que possuem uma correlação, como é caracterizado na Figura 8.

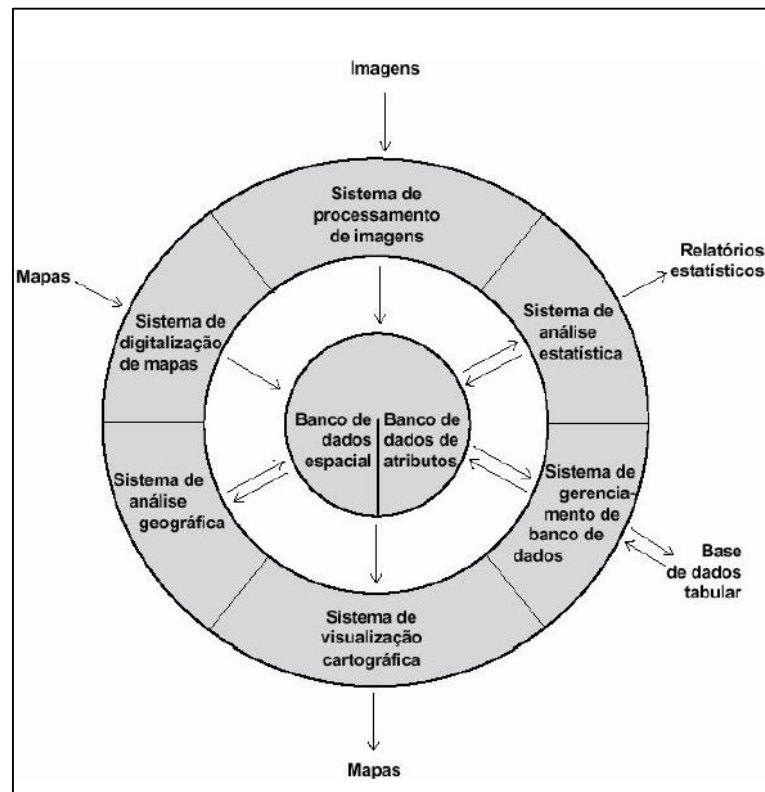
Figura 8 - Principais atividades envolvidas em Geoprocessamento



Fonte: Rosa (2013, p. 59).

O tratamento da enorme quantidade e diversidade de dados que são utilizados só é possível com a utilização de *hardwares* e *softwares* específicos e, essa necessidade levou ao desenvolvimento dos “Sistemas de Informação”, os quais possuem a finalidade de armazenamento e análise integrada de dados (ROSA, 2013). Dentre esses sistemas, existe o Sistema de Informação Geográfica (SIG), o qual realiza o processamento de dados gráficos e não gráficos, que são os alfanuméricos, dando destaque a análises espaciais e modelagens de superfícies (INPE, 2006). Ainda essa ferramenta, engloba várias funcionalidades que vão desde a aquisição, armazenamento e manipulação, até a modelagem e apresentação de dados em formato de mapas temáticos, como mostrado na Figura 9, integrando várias tecnologias.

Figura 9 – Tecnologias integradas em um SIG

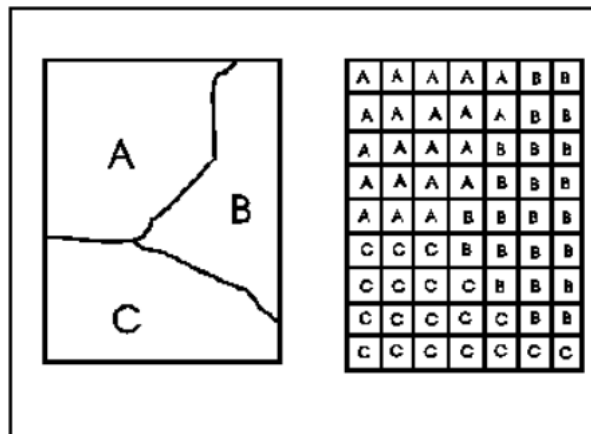


Fonte: Hasenack e Weber (1998) *apud* Rosa (2013, p.59).

Os SIG's, em grande parte, utilizam duas formas de representação dos mapas temáticos, *raster* e vetor, exemplificados na Figura 10. Neto (2011, p. 19) explica como são formadas essas duas técnicas.

No modelo matricial, também denominado de *raster*, a representação é feita por uma matriz, composta por colunas e linhas, que definem células, denominadas como pixels. Cada pixel apresenta um valor referente ao atributo, além dos valores que definem o número da coluna e o número da linha. No modelo vetorial, a localização e a feição geométrica do elemento são armazenadas e representadas por vértices definidos por um par de coordenadas. Dependendo da sua forma e da escala cartográfica, os elementos podem ser expressos por pontos, poli linhas e polígonos.

Figura 10 – Representação vetorial e matricial de um mapa temático



Fonte: INPE (2006, p. 01).

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Aspectos Gerais**

Para esse trabalho foi adotado a pesquisa aplicada, de caráter exploratório e descritivo, que se propõe, respectivamente, a ampliar a familiarização com o tema e especificar a relação entre as variáveis. Sendo assim, para a demonstração dos resultados fará uso da abordagem quali-quantitativa, por meio de revisão bibliográfica, análise documental e estudo de caso.

O planejamento dessa pesquisa deu-se nas seguintes etapas:

- 1) Revisão bibliográfica e análise documental;
- 2) Definição dos critérios a serem analisados;
- 3) Obtenção das fontes de dados;
- 4) Aplicação da matriz de seleção de áreas para implantação de aterro sanitário;
- 5) Criação dos mapas temáticos para cada critério em análise;
- 6) Criação do mapa final para seleção da área adequada.

### **4.2 Revisão Bibliográfica**

A revisão bibliográfica e análise documental deu-se nos seguintes passos:

- 1) Leitura de livros, artigos científicos, revistas, periódicos, leis e normas que pautam o tema em questão;
- 2) Escolha dos trabalhos mais relevantes, os quais expõe sobre os resíduos sólidos urbanos e os critérios para implantação de um aterro sanitário;
- 3) Cruzamento das referências bibliográficas dos trabalhos referentes ao item anterior, para obter um maior grau de confiabilidade e veracidade do conteúdo, assim possuindo informações concisas;
- 4) Análise e desenvolvimento do material teórico, enfatizando os conteúdos necessários para embasar a etapa de definição dos critérios a serem analisados.

### **4.3 Funcionamento da matriz**

A matriz tem definido para cada critério as observações para análise, as faixas de avaliação, as notas parciais e o peso, como mostrado no Quadro 3.

Quadro 3 – Parte da matriz de seleção para área de implantação de aterro sanitário

Critério de seleção	Observações	Faixa de Avaliação	Nota	Peso	
Características geotécnicas do solo - CGS	A condutividade hidráulica é o parâmetro de referência desse item pois avalia a potencialidade de percolação de líquidos no solo São preferíveis solos com certa impermeabilidade natural, com características argilosas e nunca arenosas.	Infiltração alta: $< 10^{-3}$ cm/s	2	11	
		Infiltração média: $< 10^{-3} - 10^{-4}$ cm/s	4		
		Infiltração baixa: $< 10^{-4} - 10^{-5}$ cm/s	8		
		Infiltração muito baixa: $< 10^{-5}$ cm/s	10		
Distância para os recursos hídricos superficiais - DRHSup	A distância mínima adotada visa atender a Portaria nº 124, de 20/08/1980, do Ministério do Interior, que estabelece que "[...] construções ou estruturas que armazenam substâncias capazes de causar poluição hídrica, devem ficar localizadas a uma distância mínima de 200 (duzentos) metros das coleções hídricas ou cursos d'água mais próximos.	< 200 metros	0	11	
		200 - 499 metros	6		
		500 - 1000 metros	8		
		> 1000 metros	10		
Distância dos núcleos populacionais - DNP	Na contemplação dessa variável deve-se evitar grandes distâncias dos núcleos populacionais (para reduzir custos com transporte) e manter um afastamento aceitável pela população vizinha.	< 500 metros	0	11	
		500 - 1000 metros	6		
		1001 - 2000 metros	8		
		> 15000 metros	8		
Economia de transporte - ET	A economia de transporte está diretamente ligada à distância em relação ao centro gerador. Sua consideração deve avaliar os custos operacionais (combustível, tempo de utilização do equipamento, etc) envolvidas no transporte do lixo coletado para que não se tornem uma despesa alta para o município e inviabilizem a manutenção e operação do aterro sanitário atentando para as condições das vias de acesso. A avaliação deve ser desdobrada em duas partes:	Distância de Vias - "Para a distância de vias foi adotado o valor de 100 metros do eixo de rodovias federais e estaduais seguindo os trabalhos de Metropolan (1998), Vieira et al (1999) e Gomes et al., (2001)" (GOMES, 2003)	< 100 metros	0	11
		Tipo de pavimento/relevo	100 - 499 metros	3	
			500 - 1000 metros	4	
			> 1000 metros	5	
			Estrada de terra - Relevo muito acidentado	1	
			Estrada de terra - Relevo pouco acidentado	3	
			Pista asfaltada	5	
Clinografia - C	Segundo Weber [199-?], quanto menor for a declividade da área em análise, mais apta ela será para a implantação de um aterro sanitário. A NBR 13896 (ABNT, 1997) recomenda a escolha de locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%.	Alta: $> 30\%$	2	6	
		Média: 20 - 30%	4		
		Baixa: 10 - 19,9%	6		
		Muito baixa: 3 - 9,9%	8		
		Plana: $< 3\%$	10		
Unidade de Conservação - UC	Este parâmetro deve garantir a restrição da área para um empreendimento que ameace sua preservação.	Presença de UC's	0	-	
		Ausência de UC's	10		

Fonte: Adaptado de Silva (2011, p. 58).

Dessa forma, deve-se aplicar os valores para a faixa de avaliação retornando as notas específicas, obtendo uma pontuação para cada área. Por conseguinte, deve-se aplicar o peso que será multiplicado em todas as notas. Para a obtenção da nota final é necessário realizar a soma das notas individuais multiplicadas por seu respectivo peso para cada região.

Para exemplificar o modo de preenchimento da matriz, Silva (2011, p. 49) esclarece:

Para cada área sujeita à implantação, deve-se preencher a matriz com as pontuações correspondentes as suas características e, da maneira que a matriz foi estruturada, a alternativa de maior pontuação representará a melhor seleção locacional para implantação do empreendimento.

Para a averiguação de um extenso território, essas notas finais são utilizadas para classificação das áreas, as quais serão julgadas em insatisfatórias, boas ou excelentes de acordo com sua pontuação ou porcentagem de critérios atendidos.

#### 4.4 Obtenção das Informações

Primeiramente, foi realizado a escolha dos critérios a serem avaliados seguindo a matriz. Entretanto levou-se em consideração a necessidade de contemplar o critério unidades de conservação, assim, garantindo a preservação dos recursos naturais ali existentes. Dessa forma, o critério de UC's foi adotado como limitante, ou seja, as áreas que possuem alguma unidade de conservação ambiental serão excluídas da área final de análise. Já os outros critérios seguem as pontuações e pesos fornecidos pela matriz contida no Anexo A. Os critérios analisados estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Critérios para a seleção de área

<b>Critérios de Seleção</b>	<b>Sigla</b>
Unidade de Conservação	UC
Características geotécnicas do solo	CGS
Distância para os recursos hídricos superficiais	DRHsup
Distância dos núcleos populacionais	DNP
Distância de vias	DV
Clinografia (Declividade)	C

Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Todavia, os demais critérios foram descartados, principalmente, pela ausência de dados e/ou complexidade em seu estudo. O Quadro 5 mostra a justificativa da desconsideração de forma individual.

Quadro 5 – Critérios descartados

<b>Critérios</b>	<b>Justificativa do descarte</b>
Distância para os recursos hídricos subterrâneos (lençol freático)	Indisponibilidade de dados de sondagem em toda a extensão do município de Piumhi-MG.
Potencial hídrico	Dificuldade na análise (ex.: extensão, presença de fraturas ou falhas, entre outros) das sub-bacias inclusas no território.
Fauna e flora	Complexidade de avaliação devido a extensa quantidade de espécies animais e vegetais.
Titulação da área	Necessidade de pesquisa para avaliar as propriedades pertencentes a prefeitura, instituições ou grandes proprietários e pequenos proprietários.
Legislação municipal	Deve ser analisado caso a caso para cada área levando em consideração as leis mais rigorosas.
Vida útil	Avaliação a ser realizada, após a uma pré-seleção de áreas disponíveis a um aterro sanitário. Assim, considerando a extensão, características topográficas, o crescimento populacional e a geração de resíduos.
Espessura do solo	Indisponibilidade de dados sobre a espessura dos solos, bem como das camadas subjacentes. Dessa forma, não possibilitando avaliar o solo constituinte da base e nem a disponibilidade de solo para as camadas de cobertura do aterro sanitário.

Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Com os critérios definidos foi realizado uma busca por dados para caracterizar o território a ser analisado. Esses dados devem possuir informações com base nos critérios de avaliação, para isso, utilizou-se de *shapefiles*, que são arquivos contendo dados geoespaciais em formato vetorial e matricial (*raster*) usado por um *software* SIG. O Quadro 6 aponta onde são disponibilizados as camadas e seu formato para cada critério.

Quadro 6 – Base de dados utilizada para cada critério

<b>Critério</b>	<b>Formato</b>	<b>Disponibilizado</b>
Unidade de Conservação	vetorial	ICMBIO; Lei Municipal nº 2091/2012
Características geotécnicas do solo	vetorial	IDE-Sisema
Distância para os recursos hídricos superficiais	vetorial	IDE-Sisema
Distância dos núcleos populacionais	vetorial	IDE-Sisema; Lei Complementar nº 66/2019
Distância de vias	vetorial	IBGE (2017)
Clinografia (Declividade)	matricial ( <i>raster</i> )	TOPODATA

Fonte: Arquivo do autor, 2020.

#### 4.5 Processamento dos dados

O estudo de caso se deu pela análise dos aspectos do meio físico, que influenciam a seleção de áreas para a instalação de aterros sanitários. Estes atributos foram inseridos em um sistema de informação geográfica, nesse caso o QGIS 3.8.3. A partir deste software foram

elaborados mapas temáticos que caracterizam o meio físico assim como os critérios de seleção, os quais estão descritos no Quadro 4.

Como o estudo tem ênfase no município de Piumhi, foi considerado apenas a delimitação do mesmo, desconsiderando os confrontantes. Para padronizar as fontes de dados foi adotado para o projeto o sistema de referência de coordenadas UTM, Datum SIRGAS 2000, fuso 23 Sul. Essa base de referências foi utilizada em todos os mapas para auxiliar na sua identificação.

#### 4.5.1 Unidades de Conservação

Por meio dos arquivos descritos no Quadro 6 elaborou-se um mapa no *software* QGIS para a visualização da abrangência das UC's dentro do município de Piumhi. Após, deu-se a criação do mapa para a classificação das áreas, assim, através do menu Vetor > Geoprocessamento > Recortar, foi feito o recorte da camada de UC's compreendida dentro do território em estudo e, na tabela de atributos adotou-se as notas do Quadro 3 para demonstrar quais os locais aptos e inaptos a implantação.

#### 4.5.2 Características Geológicas

O arquivo demonstra o mapa de solos de Minas Gerais, o qual contém as distribuições das manchas de cada tipo de solo, bem como sua nomenclatura. Dessa forma, para obter apenas os solos competentes ao território em estudo foi feito um recorte da camada total, por meio do menu Vetor > Geoprocessamento > Recortar, podendo demonstrar os tipos presentes dentro do território.

Depois, realizou-se a análise de classificação de cada tipo de solo para com sua respectiva taxa de permeabilidade utilizando o estudo feito por Freire (2009). O Quadro 7 mostra as classificações para os solos.

Quadro 7 – Tipos de Solos e sua Permeabilidade

<b>Tipo de Solo</b>	<b>Classificação</b>
Quartzo Arenítico, Neossolo Flúvico	Permeabilidade Alta
Latossolo, Neossolo Litólico	Permeabilidade Média a Alta
Afloramento Rochoso, Cambissolo	Permeabilidade Média
Podzólico/Argissolo	Permeabilidade Média a Baixa
Brunizem Avermelhado, Planossolo, Glei Húmico/Gleissolo Melânico	Permeabilidade Baixa

Fonte: Adaptado de Freire (2009, p. 82).

Portanto, com a classificação da permeabilidade dos solos foi feito um comparativo com a matriz de notas utilizada, que está demonstrado no Quadro 8.

Quadro 8 – Notas para cada solo da área em estudo em relação a sua permeabilidade

Faixa de Avaliação	Tipo de Solo	Nota
Infiltração Alta	Neossolo Litolítico, Latosolo Vermelho	2
Infiltração média	Cambissolo Háplico	4
Infiltração baixa	Argissolo Vermelho Amarelo, Argissolo Vermelho	8
Infiltração muito baixa	Gleissolo Melânico	10

Fonte: Adaptado de Silva (2011).

Com o auxílio da tabela de atributos inseriu-se as notas para cada tipo de solo, obtendo o mapa de classificação das características geológicas.

#### 4.5.3 Distância para os Recursos Hídricos Superficiais

A análise utilizou como fonte de dados uma *shapefile* que dispõe a Bacia do Rio São Francisco, a qual abrange todo o município de Piumhi-MG. Para a avaliação apenas os cursos hídricos presentes no município foram mantidos, esse passo foi feito no menu Vetor > Geoprocessamento > Recortar. A elaboração do mapa das distâncias seguiu os seguintes passos:

- 1) Por meio do menu Vetor > Geoprocessamento > *Buffer*, realizou-se a criação de contornos, a partir dos cursos d'água presentes na camada, com as distâncias de: 300, 500, 1000 e 50000 metros (o valor de 50000 metros é uma referência de distância que excede todos os limites municipais);
- 2) Esses contornos criados foram recortados, através do menu Vetor > Geoprocessamento > Recortar, na seguinte ordem:
  - Contorno de 50000 recortado pelos limites municipais e pelo contorno de 1000, resultando no parâmetro “> 1000 metros”;
  - Contorno de 1000 recortado pelo de 500 metros, resultando no parâmetro “500 - 1000 metros”;
  - Contorno de 500 recortado pelo de 300 metros, resultando no parâmetro “300 - 499 metros”;
  - E o contorno de 300 metros não precisou ser recortado, resultando no parâmetro de “< 300 metros”;
- 3) Com as camadas de “< 300 metros”, “300 - 499 metros”, “500 - 1000 metros” e “> 1000 metros”, foi realizado a união pelo menu MMQGIS > Combine > Merge Layers, resultando em uma única camada com todos esses dados (MMQGIS é um complemento disponível na plataforma do QGIS);
- 4) Montagem do mapa embasado nesses parâmetros.

Para o mapa de classificação foi realizado a atribuição das notas presentes no Quadro 3 de acordo com as faixas de avaliação. Vale ressaltar que a distância de 200 metros foi substituída pela de 300 metros de cursos d'água para atender à exigência mínima descrita na DN 118/2008 (MINAS GERAIS, 2008).

#### 4.5.4 Distância dos Núcleos Populacionais

Para a identificação dos núcleos populacionais foi utilizado uma camada *shapefile* disponibilizada pelo IDE-Sisema que demonstra através de pontos os principais povoados do estado de Minas Gerais, assim, por meio do Google Earth pôde-se determinar, aproximadamente, os perímetros de concentração urbana. Essas delimitações realizadas foram dos povoados de Penedos e Lagoa dos Martins. E ainda, pela Lei Complementar nº 66/2019 que dispõe sobre a fixação dos limites do perímetro urbano da cidade de Piumhi, complementou-se os principais núcleos urbanos do município. Esses núcleos foram unidos pelo menu Vetor > Geoprocessamento > Unir, resultando em uma única camada. A elaboração do mapa das distâncias seguiu os seguintes passos:

- 1) Por meio do menu Vetor > Geoprocessamento > *Buffer*, realizou-se a criação de contornos, a partir dos núcleos populacionais presentes na camada, com as distâncias de: 500, 1000, 2000, 15000 e 50000 metros (valor de referência que excede todos os limites municipais);
- 2) Esses contornos criados foram recortados, através do menu Vetor > Geoprocessamento > Recortar, na seguinte ordem:
  - Contorno de 50000 recortado pelos limites municipais e pelo contorno de 15000, resultando no parâmetro “> 15000 metros”;
  - Contorno de 15000 recortado pelo de 2000 metros, resultando no parâmetro “2001 - 15000 metros”;
  - Contorno de 2000 recortado pelo de 1000 metros, resultando no parâmetro “1001 - 2000 metros”;
  - Contorno de 1000 recortado pelo de 500 metros, resultando no parâmetro “500 - 1000 metros”;
  - E o contorno de 500 metros não precisou ser recortado, resultando no parâmetro de “< 500 metros”;
- 3) Com as camadas de “< 500 metros”, “500 - 1000 metros”, “1001 - 2000 metros”, “2001 - 15000 metros” e “> 15000 metros”, foi realizado a união pelo menu MMQGIS > Combine > Merge Layers, resultando em uma única camada

com todos esses dados (MMQGIS é um complemento disponível na plataforma do QGIS);

- 4) Montagem do mapa embasado nesses parâmetros.

Para o mapa de classificação foi realizado a atribuição das notas presentes no Quadro 3 de acordo com as faixas de avaliação.

#### 4.5.5 Distância de Vias

O *shapefile*, concedido pelo IBGE (2017), contém as vias de todo o país, porém a avaliação necessita apenas das vias presentes no município. Para isso, foi necessário realizar essa exclusão das vias excedentes por meio do menu Vetor > Geoprocessamento > Recortar. A elaboração do mapa das distâncias seguiu os seguintes passos:

- 1) Por meio do menu Vetor > Geoprocessamento > *Buffer*, realizou-se a criação de contornos, a partir dos cursos d'água presentes na camada, com as distâncias de: 100, 500, 1000 e 50000 metros (o valor de 50000 metros é uma referência de distância que excede todos os limites municipais);
- 2) Esses contornos criados foram recortados, através do menu Vetor > Geoprocessamento > Recortar, na seguinte ordem:
  - Contorno de 50000 recortado pelos limites municipais e pelo contorno de 1000, resultando no parâmetro "> 1000 metros";
  - Contorno de 1000 recortado pelo de 500 metros, resultando no parâmetro "500 - 1000 metros";
  - Contorno de 500 recortado pelo de 100 metros, resultando no parâmetro "100 - 499 metros";
  - E o contorno de 300 metros não precisou ser recortado, resultando no parâmetro de "< 100 metros";
- 3) Com as camadas de "< 100 metros", "100 - 499 metros", "500 - 1000 metros" e "> 1000 metros", foi realizado a união pelo menu MMQGIS > Combine > Merge Layers, resultando em uma única camada com todos esses dados (MMQGIS é um complemento disponível na plataforma do QGIS);
- 4) Montagem do mapa embasado nesses parâmetros.

Para a classificação utilizou-se os parâmetros estipulados no Quadro 3, no qual adotou-se as notas de acordo com as distâncias de vias somadas ao tipo de pavimentação/relevo. Todas as vias foram consideradas como pista asfaltada, assim, as notas ficando demonstradas no Quadro 9.

Quadro 9 – Notas para a Distância de Vias

Faixa de Avaliação	Nota
< 100 metros	5
100 – 499 metros	8
500 – 1000 metros	9
> 1000 metros	10

Fonte: Adaptado de Silva (2011, p. 59).

#### 4.5.6 Clinografia (Declividade)

O dado para geração do mapa de declividades foi obtido por meio do site TOPODATA que fornece um MDE em formato “Tiff”. Inicialmente, realizou-se uma reprojeção da camada *raster* para SIRGAS 2000 / UTM 23S, feito através do menu *Raster* > *Projeção* pois é necessário que todos os dados do arquivo estejam em metros. Em seguida, o *software* QGIS 3.8.3, disponibiliza em sua plataforma uma opção de criação da camada de declividades automaticamente através da camada *raster* com os dados já em porcentagem. Esse processo é feito seguindo os seguintes passos no *software*: menu *Raster* > *Análise* > *Declividade*. Após a elaboração das declividades, realizou-se a classificação dos níveis, juntamente com as respectivas notas, que foram seguidas com base no Quadro 3.

#### 4.5.7 Mapa Final

Para realizar a junção dos mapas, realizada no *software* QGIS, foi seguido as seguintes etapas:

- 1) Transformação da camada *raster*, referente ao mapa de declividades, para uma camada vetorial, de modo a padronizar os dados. Isso faz-se pelo comando do menu *Raster* > *Converter* > *Raster para vetor*;
- 2) Aplicação dos pesos descritos no Anexo A. É adicionado a tabela de atributos uma coluna, em que o peso respectivo é multiplicado ao valor da nota parcial, obtendo um produto para cada critério;
- 3) Junção dos critérios. Esse passo é executado através do comando do menu *Vetor* > *Geoprocessamento* > *União*, devendo ser realizado de forma simultânea camada por camada. Ao final, terão 5 colunas na tabela de atributos que serão somadas, resultando em notas finais para as áreas;
- 4) Exclusão da área inapta do critério UC's. É realizado pelo comando do menu *Vetor* > *Geoprocessamento* > *Recortar*. Apenas retirando o local da camada obtida no item anterior.

Com a base dos dados para o mapa finalizados, fez-se a classificação das áreas como descrito no item 4.3. A maior nota a ser alcançada é de 500 pontos, isso se dá pela soma máxima das notas para cada critério. Logo, partindo da pontuação máxima e dos três níveis de classificação, definiu-se a porcentagem de satisfação dos critérios como mostra o Quadro 10.

Quadro 10 – Níveis de classificação final das áreas

<b>Classificação final das áreas</b>			
<b>Julgamento</b>	<b>Pontuação</b>	<b>% de satisfação dos critérios</b>	<b>Observações</b>
Insatisfatória	< 250	< 50%	Áreas com essa pontuação devem, a princípio, serem descartadas do processo.
Boa	250 - 375	≥ 50% e < 75%	Áreas com essa pontuação estão aptas a implantação de aterros sanitários, devendo o profissional que aplicar a matriz observar quais os critérios que apresentaram pontuação baixa e buscar propor medidas mitigadoras dos impactos ambientais referentes a tal critério.
Excelente	≥ 375	≥ 75%	Áreas com essa pontuação estão, diante dos critérios avaliados, totalmente adaptadas a acomodar aterros sanitários.

Fonte: Adaptado de Silva (2011, p. 55).

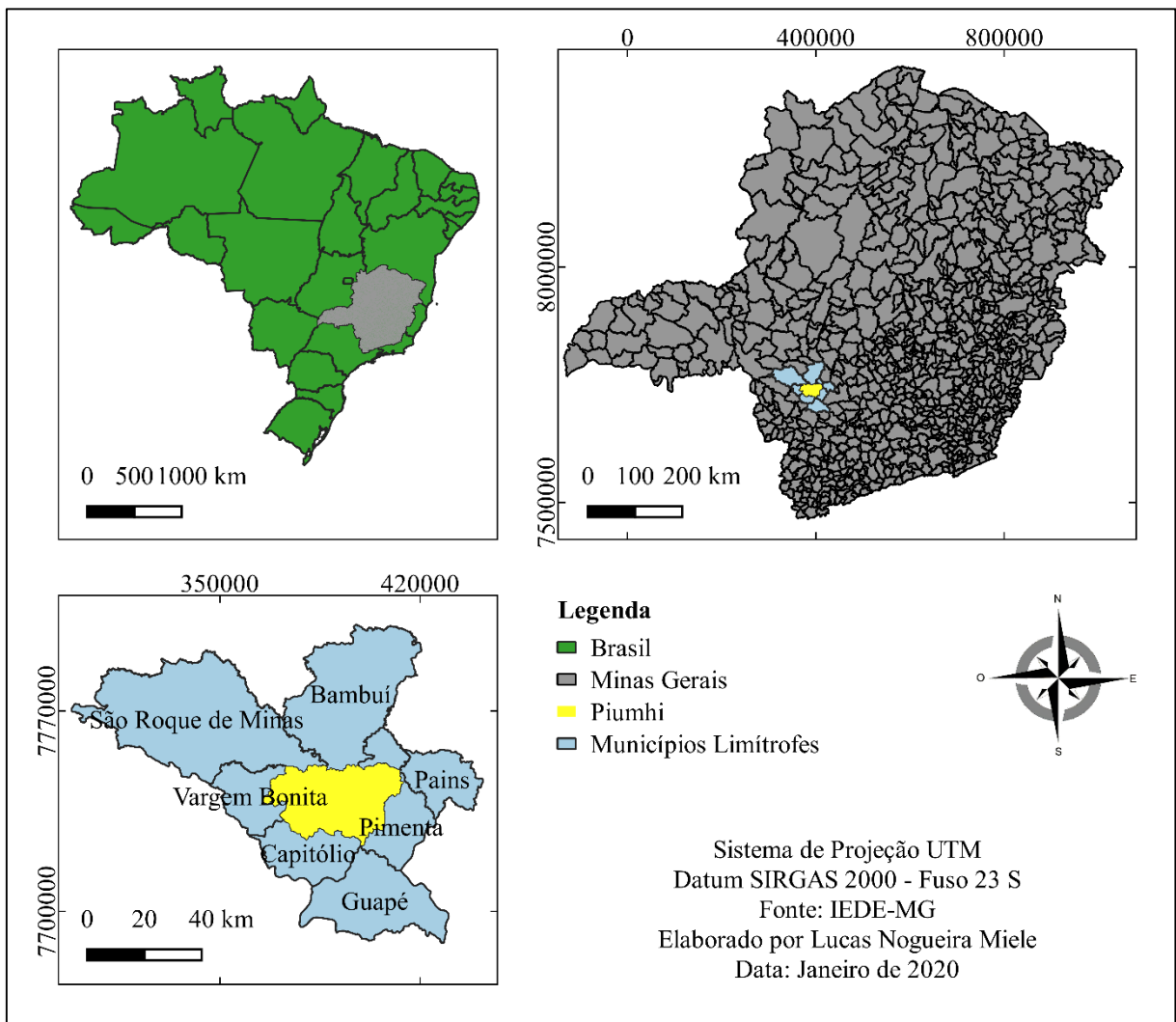
Afim de comparar as áreas mais adequadas para a implantação de um aterro sanitário foi elaborado o mapa de adequabilidade a partir das informações de pontuação final reclassificada conforme o Quadro 10.

## 5 ESTUDO DE CASO

### 5.1 Caracterização da área de estudo

O município de Piumhi fica localizado (Figura 11) na Mesorregião Oeste do Estado de Minas Gerais (região Centro-Oeste), constituída de uma área de 902,468 km<sup>2</sup> e uma altitude média de 793 metros (CÂMARA MUNICIPAL DE PIUMHI, 2017). Possui como seus vizinhos limítrofes os municípios: Doloresópolis, Bambuí, São Roque de Minas, Capitólio, Pimenta, Guapé, Pains e Vargem Bonita. No último censo de 2010 a população era de 31.833 pessoas e a população estimada em 2019 de 34.691 pessoas (IBGE, 2017). Fica posicionada a 256 Km de Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, e a 500 Km da cidade de São Paulo. Sua economia abrange além das atividades ligadas à pecuária, comércio e serviços, a produção agrícola de produtos como café, milho, feijão e leite (CÂMARA MUNICIPAL DE PIUMHI, 2017).

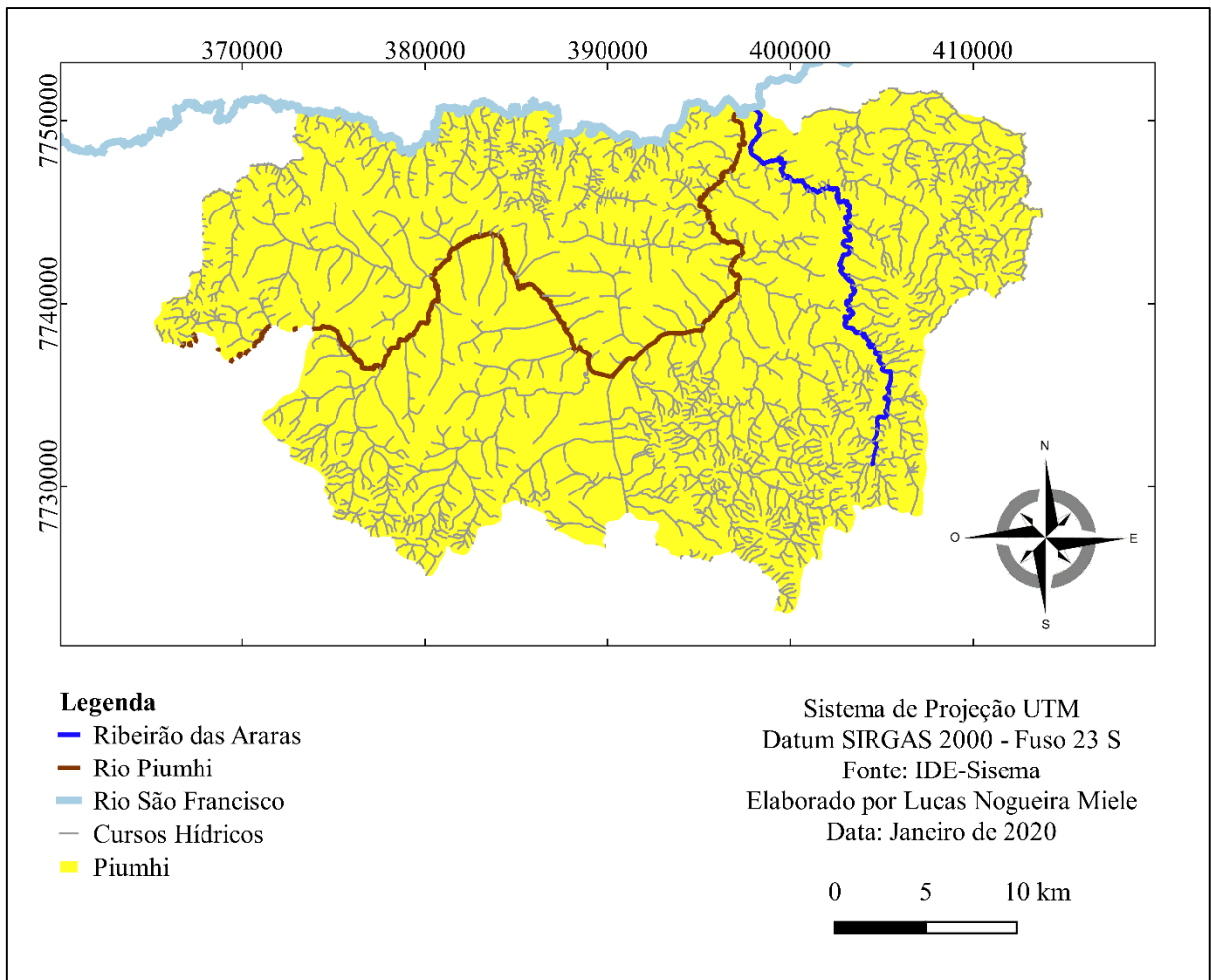
Figura 11 – Localização do município de Piumhi-MG



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

A Figura 12 mostra a respectiva área e suas delimitações utilizadas para o trabalho.

Figura 12 – Limite da área de estudo

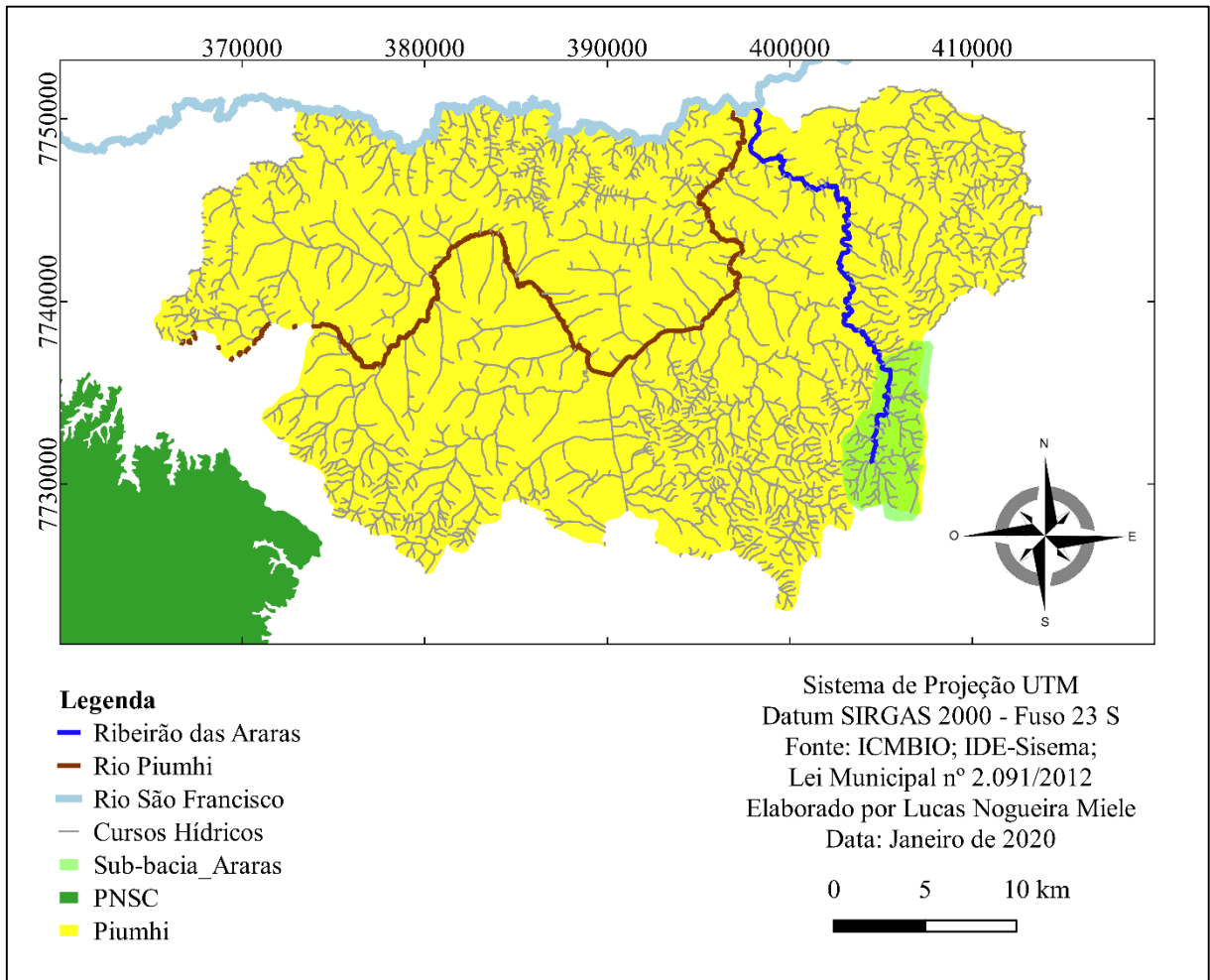


Fonte: Arquivo do autor, 2020.

## 5.2 Unidades de Conservação

Verificou-se que o Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC) encontra-se fora do município e, mediante a lei municipal nº 2.091/2012, constatou-se a existência de um patrimônio ambiental, turístico e científico, a sub-bacia do Ribeirão Araras, localizado no Município de Piumhi-MG. Embasados nesses dados criou-se o mapa temático, exposto na Figura 13, para visualização da influência dessas áreas no município.

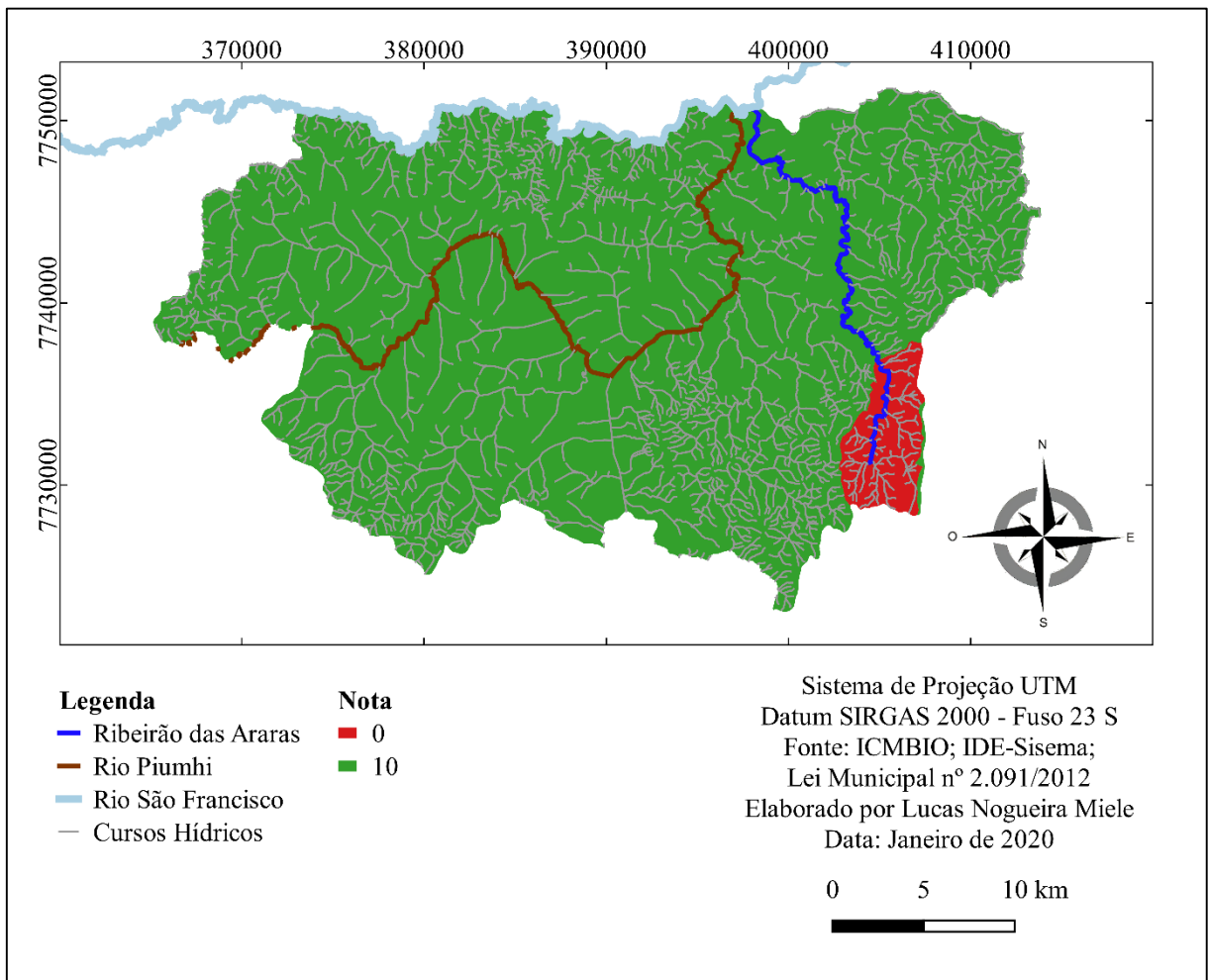
Figura 13 – Mapa de caracterização de UC's presente em Piumhi-MG



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Assim, constatou-se que a unidade de conservação do Parque Nacional da Serra da Canastra não contempla a área de estudo, logo não exerce pontuação na mesma. Entretanto, a sub-bacia do Ribeirão Araras possui grande extensão no município, sendo necessário sua exclusão na análise final da área adequada de implantação. Portanto, a Figura 14 demonstra a área a ser excluída e, conseqüentemente, as aptas para esse critério.

Figura 14 – Mapa de Classificação de Unidades de Conservação

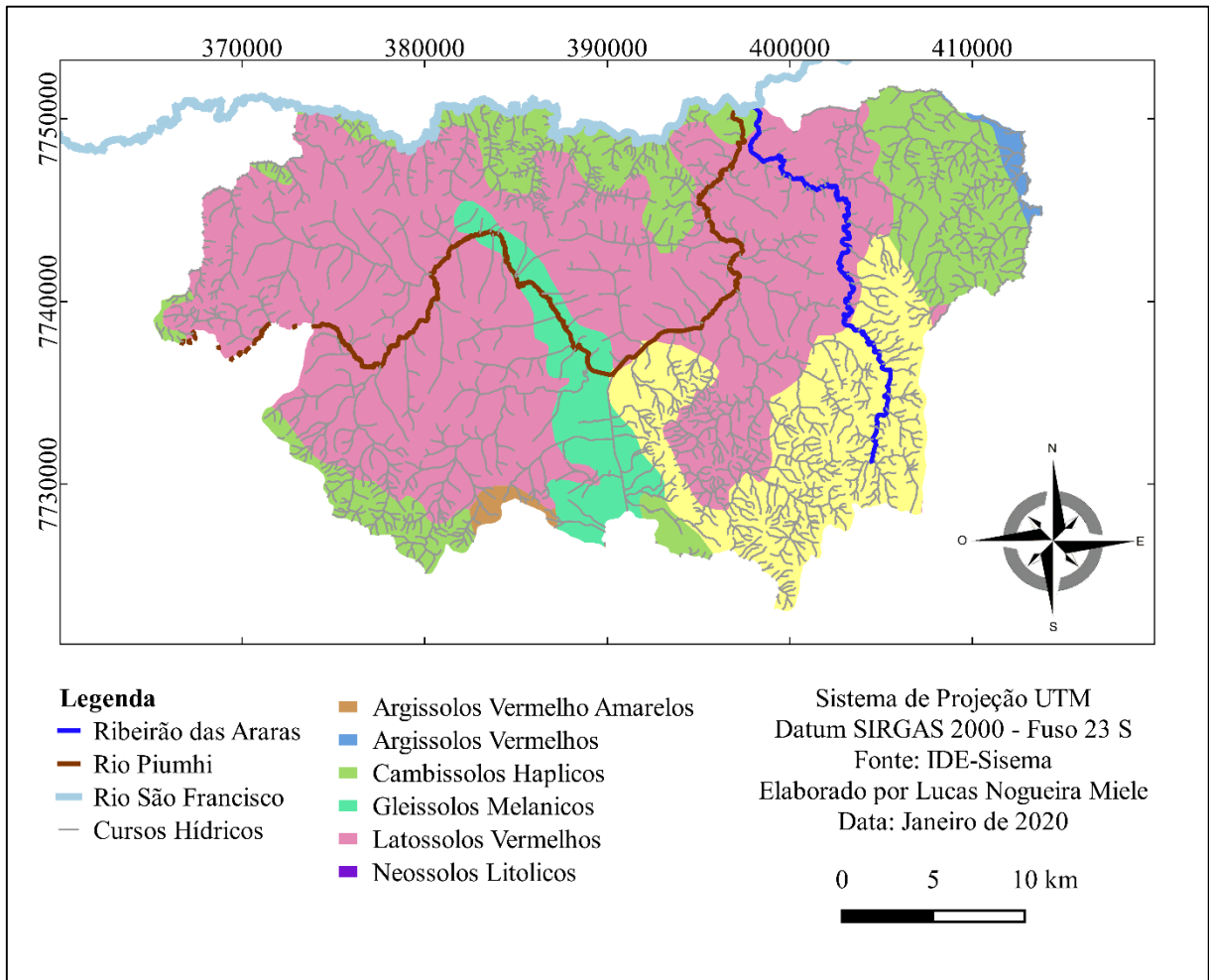


Fonte: Arquivo do autor, 2020.

### 5.3 Características Geológicas

O município de Piumhi-MG apresenta seis tipologias de solos, dentre elas: argissolo vermelho amarelo, argissolo vermelho, cambissolo háplico, gleissolo melânico, latossolo vermelho e neossolo litólicos, demonstrados na Figura 15.

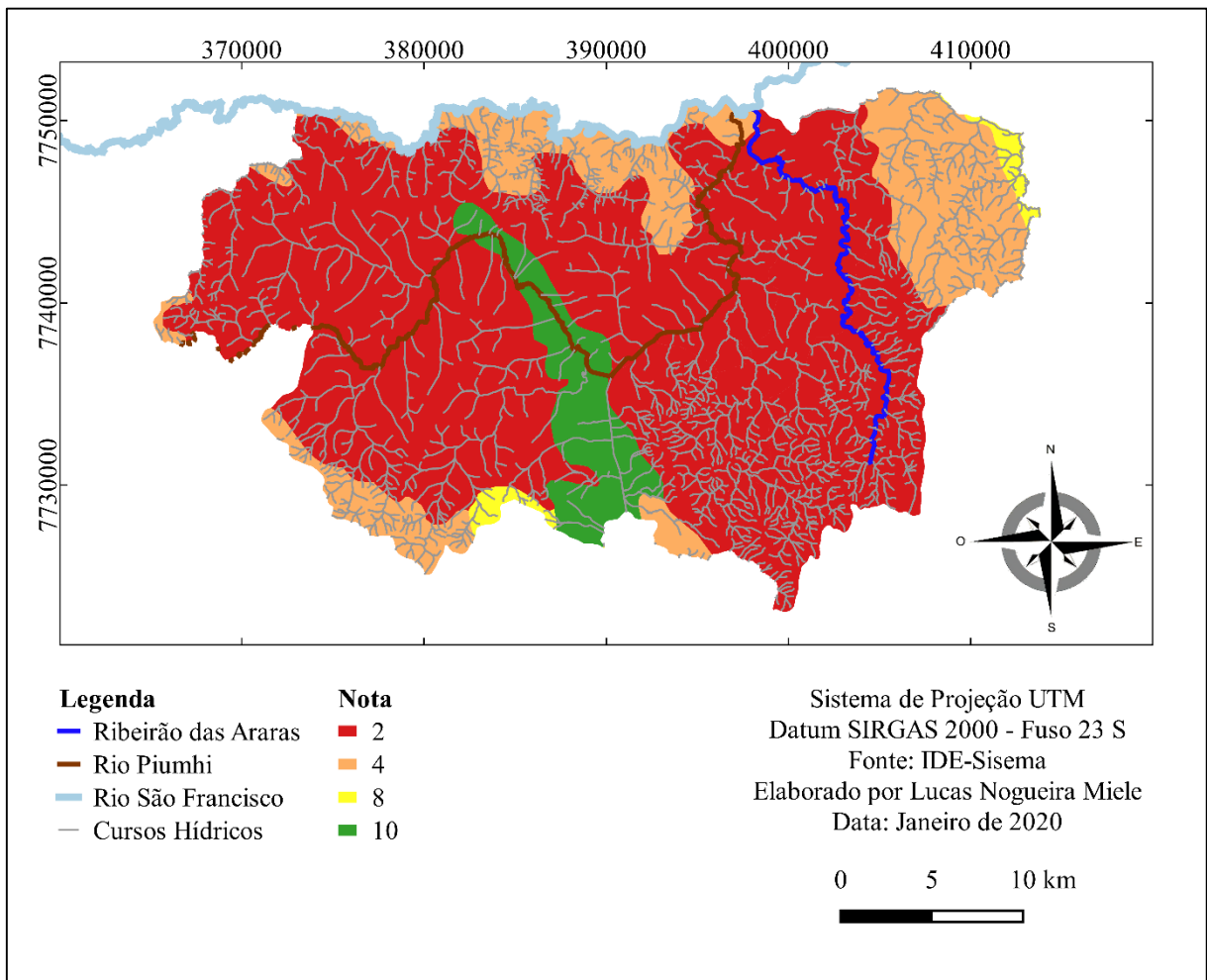
Figura 15 - Mapa de Caracterização Geotécnica dos Solos



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Logo, a Figura 16 ilustra as notas para cada tipologia de solo no município de Piumhi.

Figura 16 – Mapa de Classificação da Taxa de Infiltração dos Solos



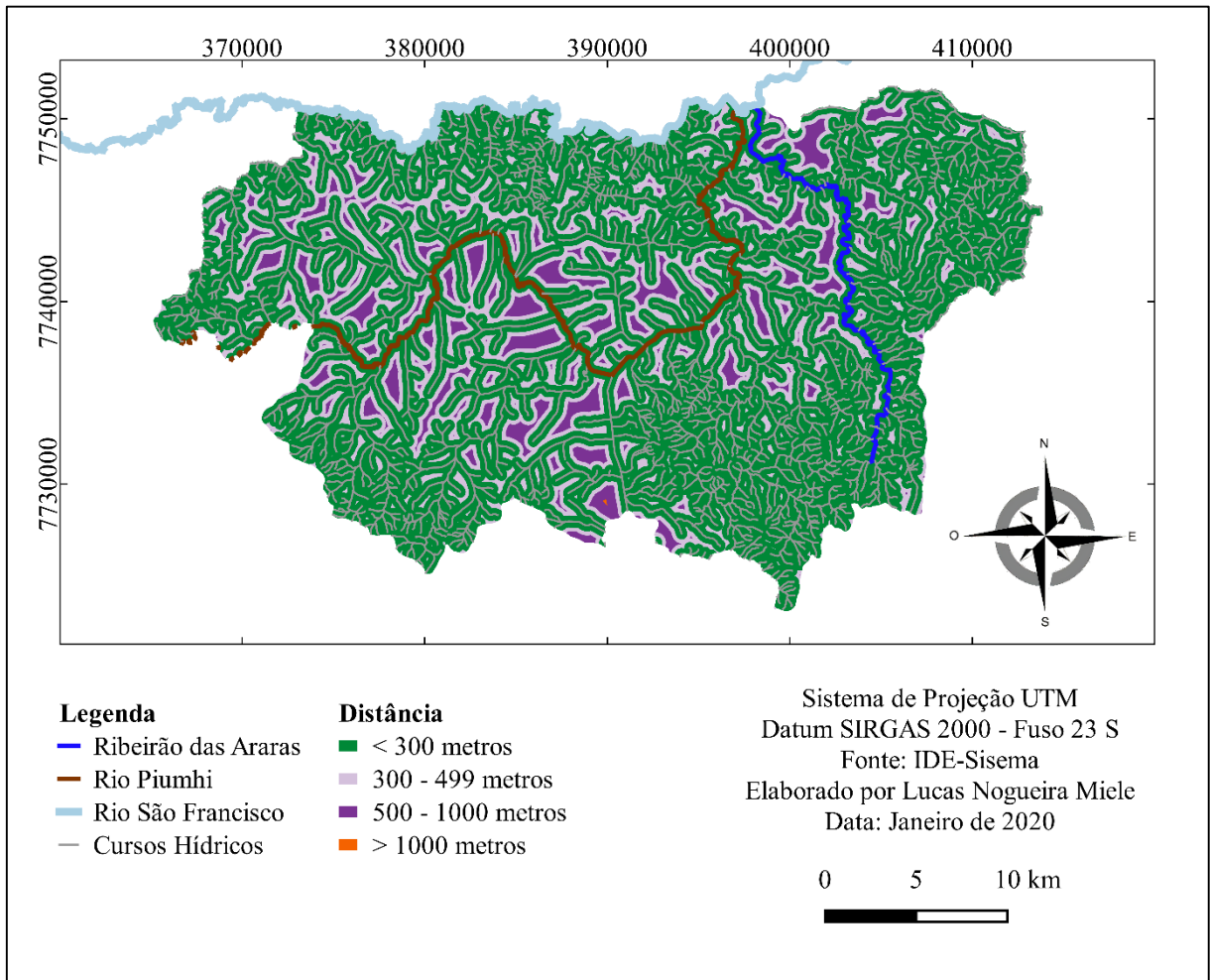
Fonte: Arquivo do autor, 2020.

O solo com maior nota, gleissolo melânico, é composto por “material predominantemente argiloso e muito argiloso que passou por processos de oxidação e redução em ambiente saturado por água, mal ou muito mal drenados (hidromórficos), sendo encontrados em áreas que apresentam restrição de drenagem, como nas proximidades dos cursos d’água, várzeas e baixadas” (EMBRAPA, 2011, p. 01). Logo, possui infiltração muito baixa por apresentar alta saturação, refletindo a proximidade do lençol freático. Dessa forma, traz uma limitação do estudo por considerar apenas uma característica do solo. Para demonstrar uma informação mais condizente deve ser analisado em conjunto com os critérios de distância para os recursos hídricos subterrâneos (lençol freático), espessura do solo e características químicas.

#### 5.4 Distância para os Recursos Hídricos Superficiais

A Figura 17 apresenta os intervalos de distâncias para os recursos hídricos no município de Piumhi.

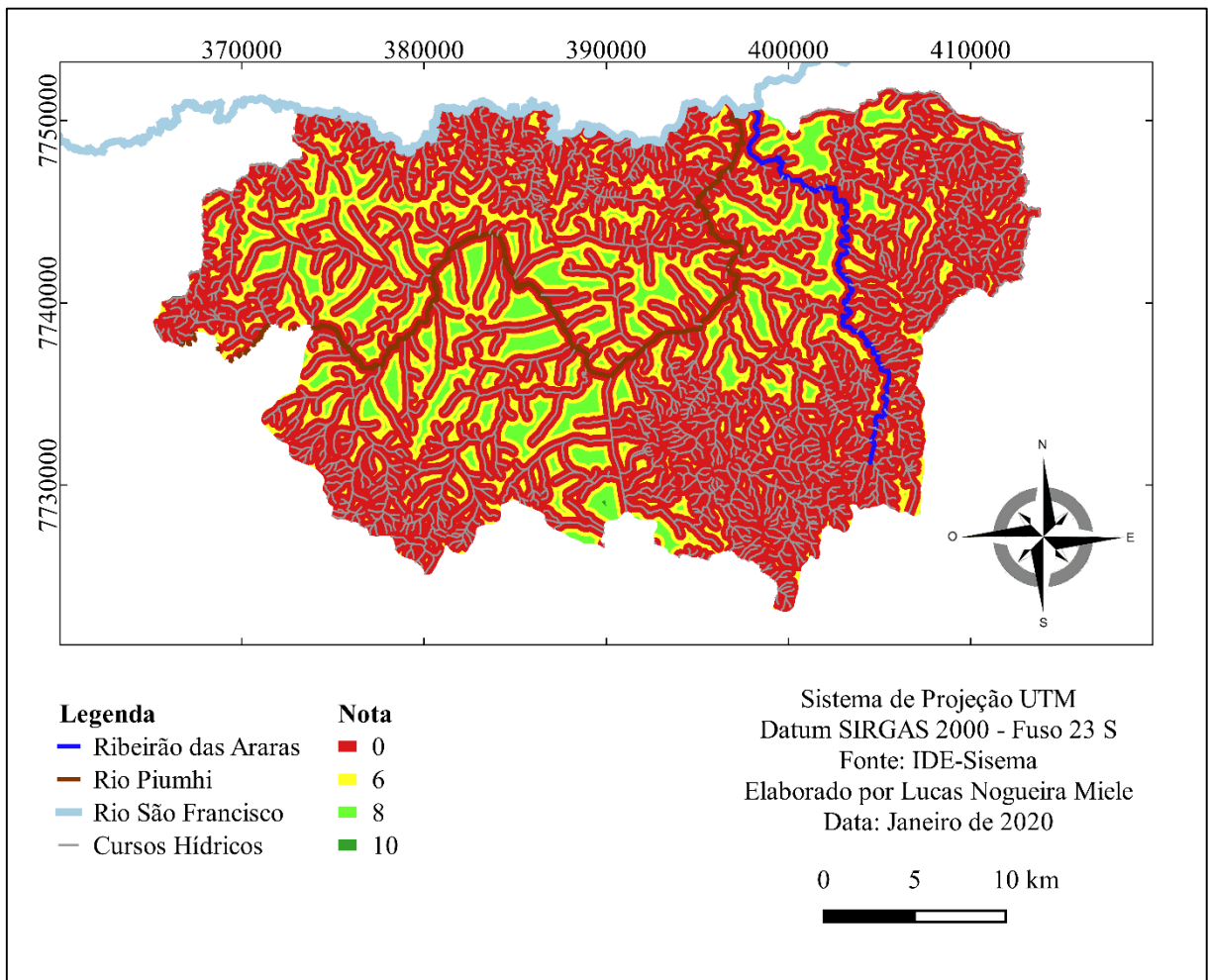
Figura 17 – Mapa de Distância para os Recursos Hídricos Superficiais



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Devido a vasta quantidade de cursos hídricos pode-se notar a predominância de locais com distância menor que 300 metros, e apenas uma parte situada na região centro-sul com distância maior que 1000 metros. As notas classificatórias atribuídas estão demonstradas na Figura 18.

Figura 18 – Mapa de Classificação da Distância para os Recursos Hídricos Superficiais

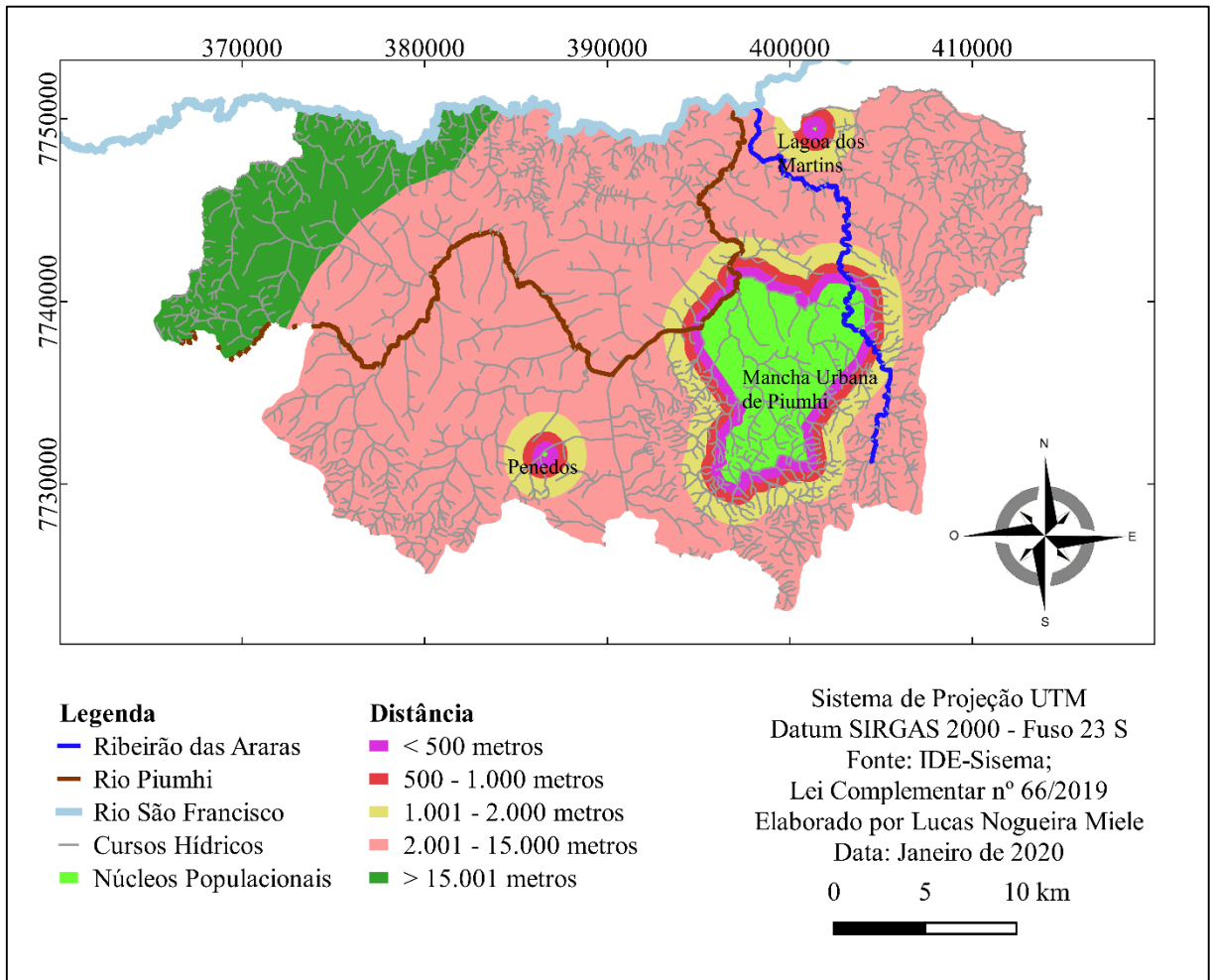


Fonte: Arquivo do autor, 2020.

## 5.5 Distância dos Núcleos Populacionais

A Figura 19 apresenta os principais núcleos populacionais de Piumhi-MG e as distâncias pré-determinadas.

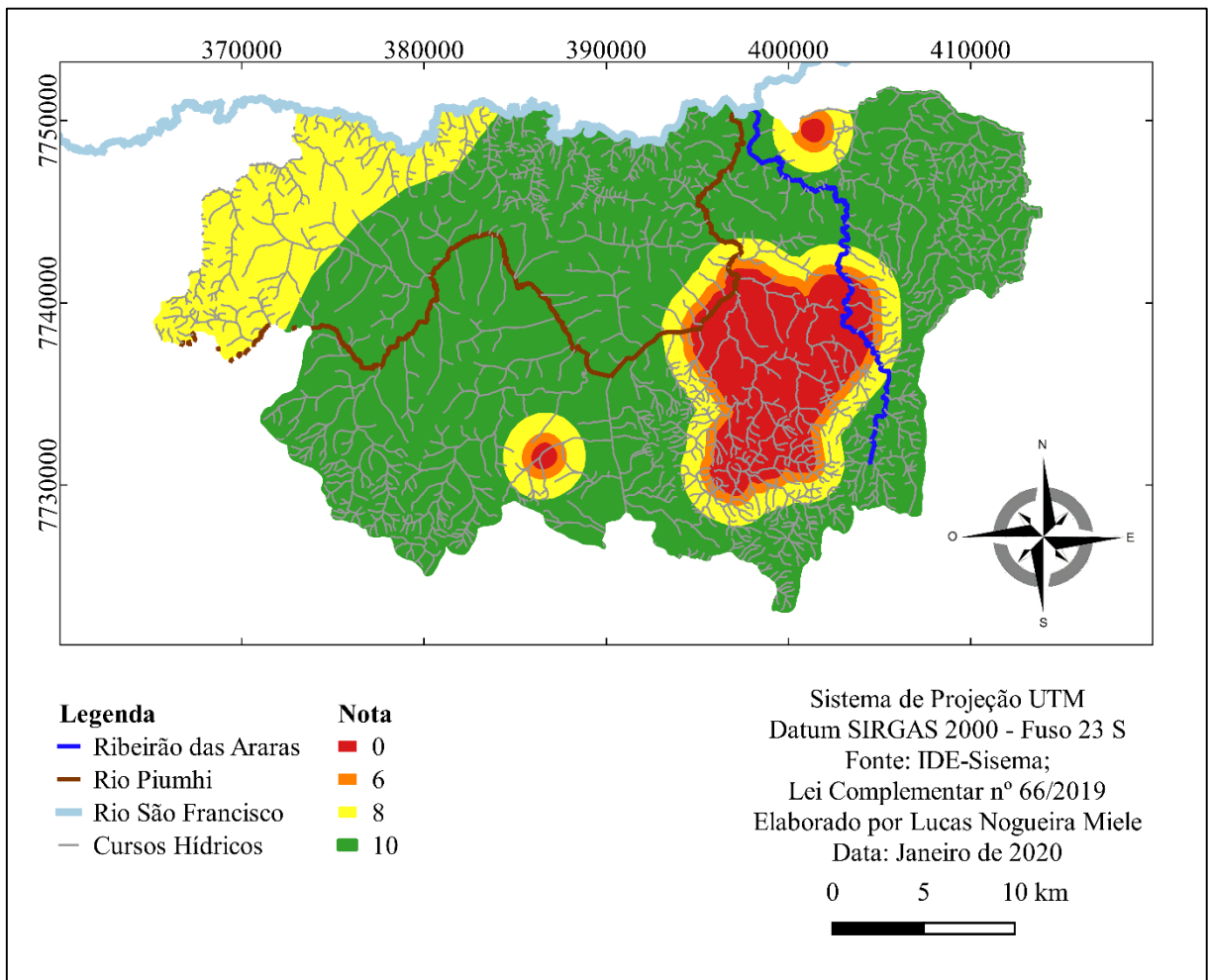
Figura 19 – Mapa de Distância para os Núcleos Populacionais



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

A Figura 20 mostra o mapa de classificação das distâncias para os núcleos populacionais.

Figura 20 – Mapa de Classificação da Distância para os Núcleos Populacionais



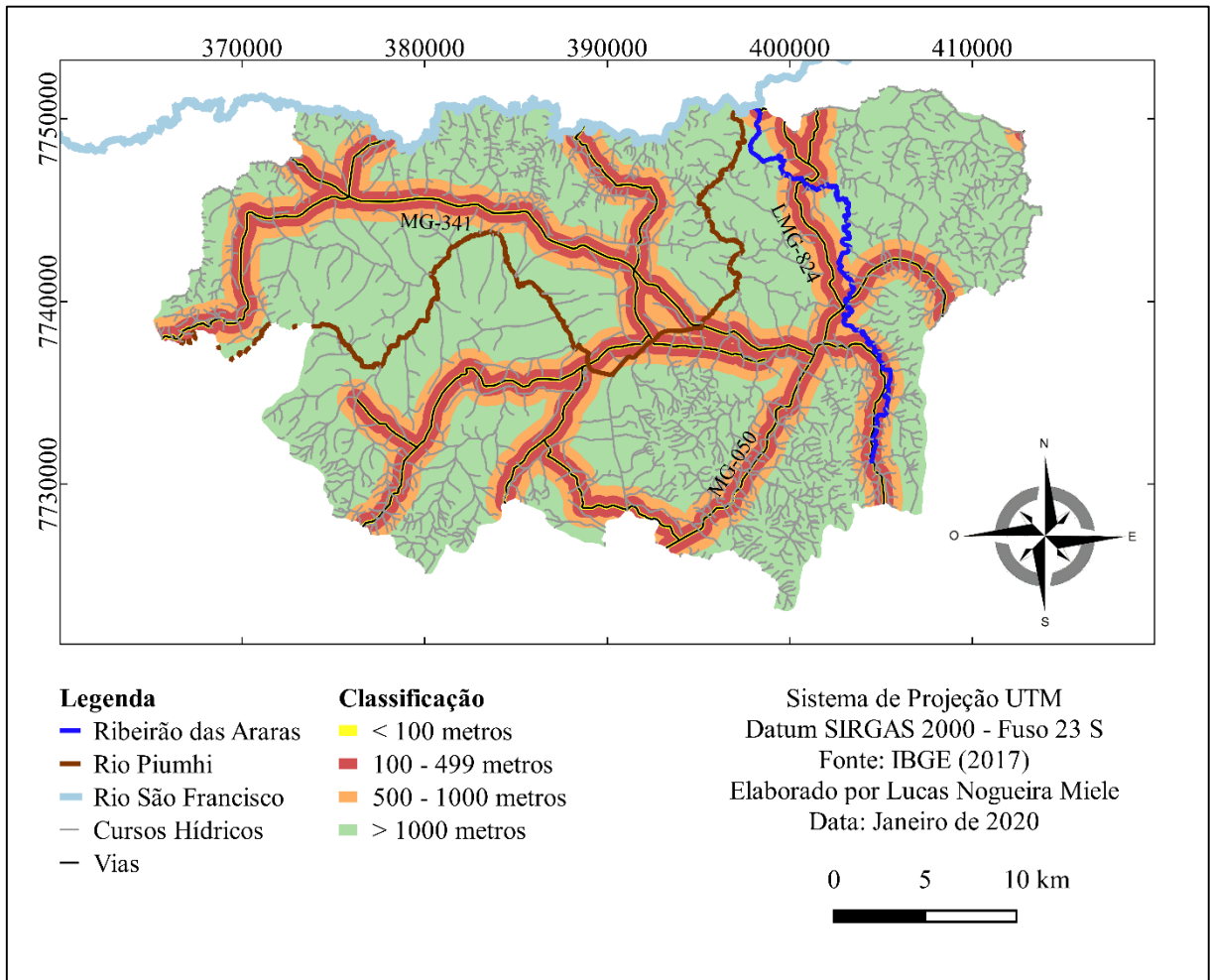
Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Como pode-se notar no mapa a cor verde, distância de 2000 a 15000 metros, indica a área mais adequada para com esse critério devido a manter um equilíbrio de uma distância mínima para os centros populacionais e uma distância máxima que não inviabilize o custo de transporte.

## 5.6 Distância de Vias

A Figura 21 demonstra as principais vias que incluídas dentro do território, dentre elas a MG-341, a MG-050 e a LMG-824, como também os intervalos de distância para as mesmas.

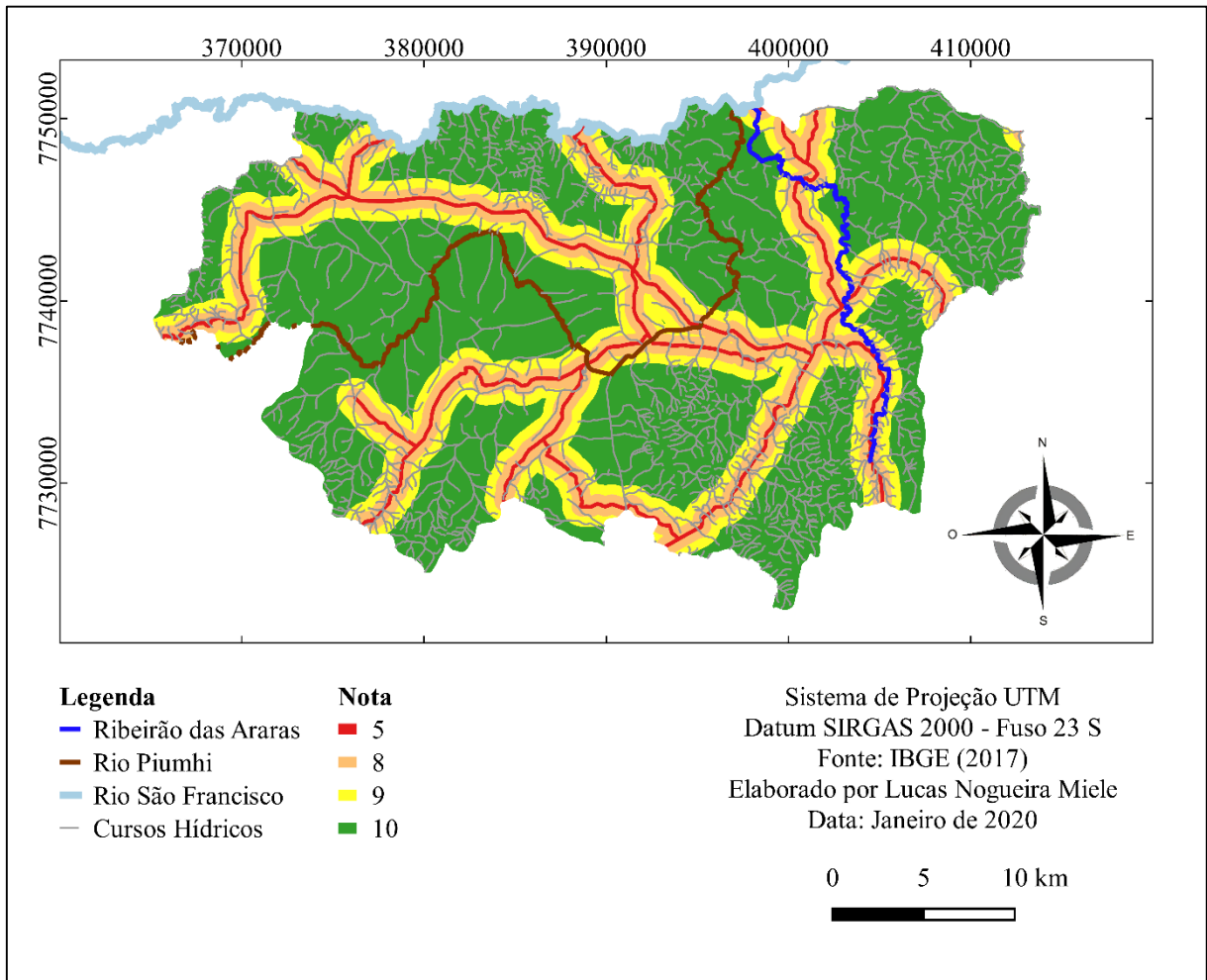
Figura 21 – Mapa de Distância de Vias



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

As notas para os intervalos estão demonstradas na Figura 22.

Figura 22 – Mapa de Classificação da Distância de Vias



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Ao analisar esse critério nota-se que leva em conta apenas a distância, ou seja, quanto maior a distância melhor para reduzir a poluição nas proximidades das vias. Isso implica uma limitação da matriz de seleção, que apesar de rotular como “economia de transporte” não leva em consideração o custo do transporte. Esse método pode ser melhor adequado ao considerar a distância mínima de 100 metros de rodovias e estradas (MINAS GERAIS, 2008) e com os intervalos de afastamento do eixo da via a nota deve diminuir. O Quadro 11 exemplifica como essas notas poderiam ser reorganizadas.

Quadro 11 – Recomendação para reformular as notas para a distância de vias

Critério de seleção	Faixa de avaliação	Nota
Distância de Vias	< 100 metros	0
	100 - 499 metros	5
	500 - 1000 metros	4
	> 1000 metros	3

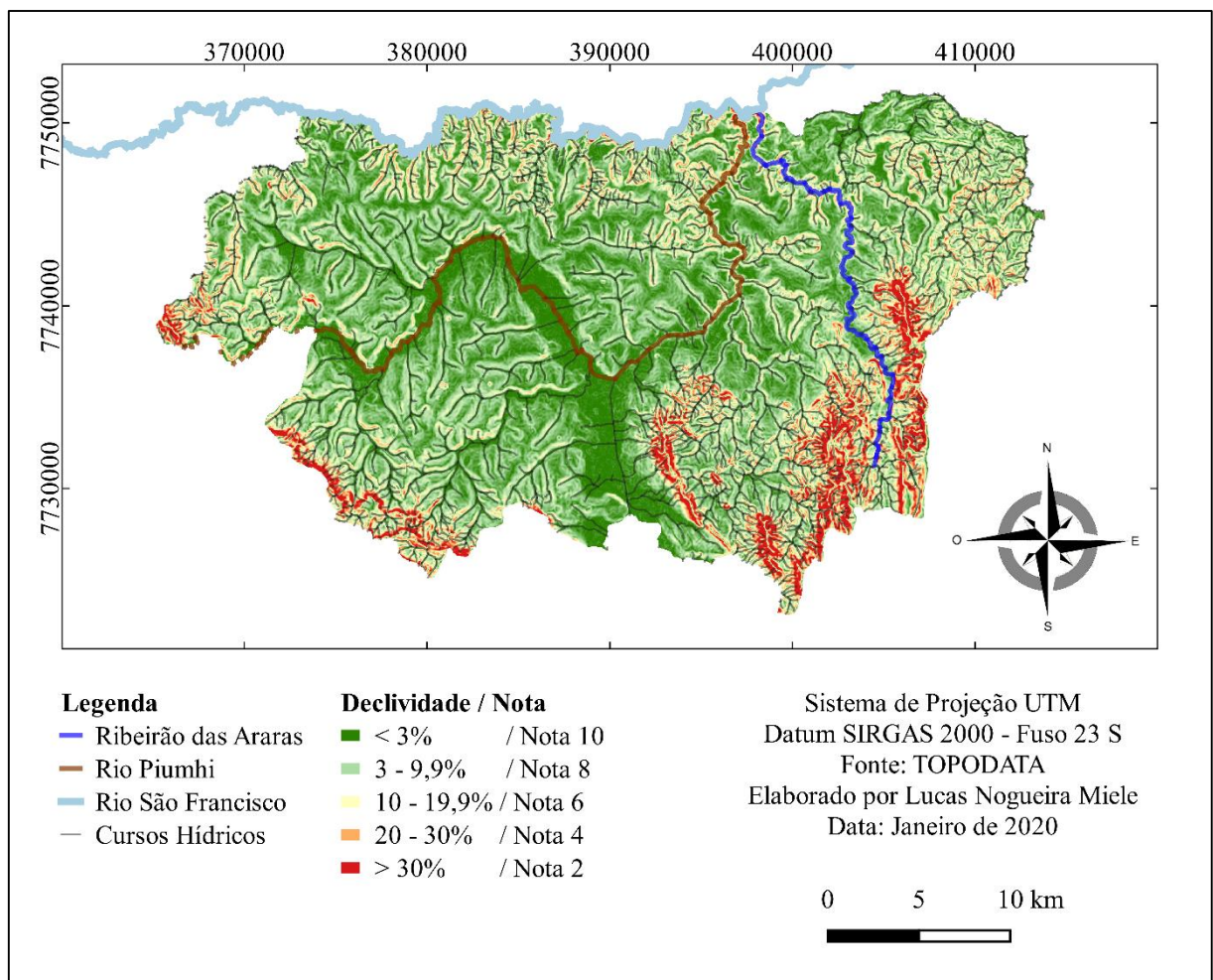
Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Vale ressaltar que esse critério se complementa com o de Distância dos Núcleos Populacionais. Dessa forma, considerando a distância da fonte geradora de resíduos com o custo de transporte.

### 5.7 Clinografia (Declividade)

A Figura 23 ilustra o mapa de declividades, com os intervalos e notas, para o município de Piumhi-MG.

Figura 23 – Mapa de Declividades



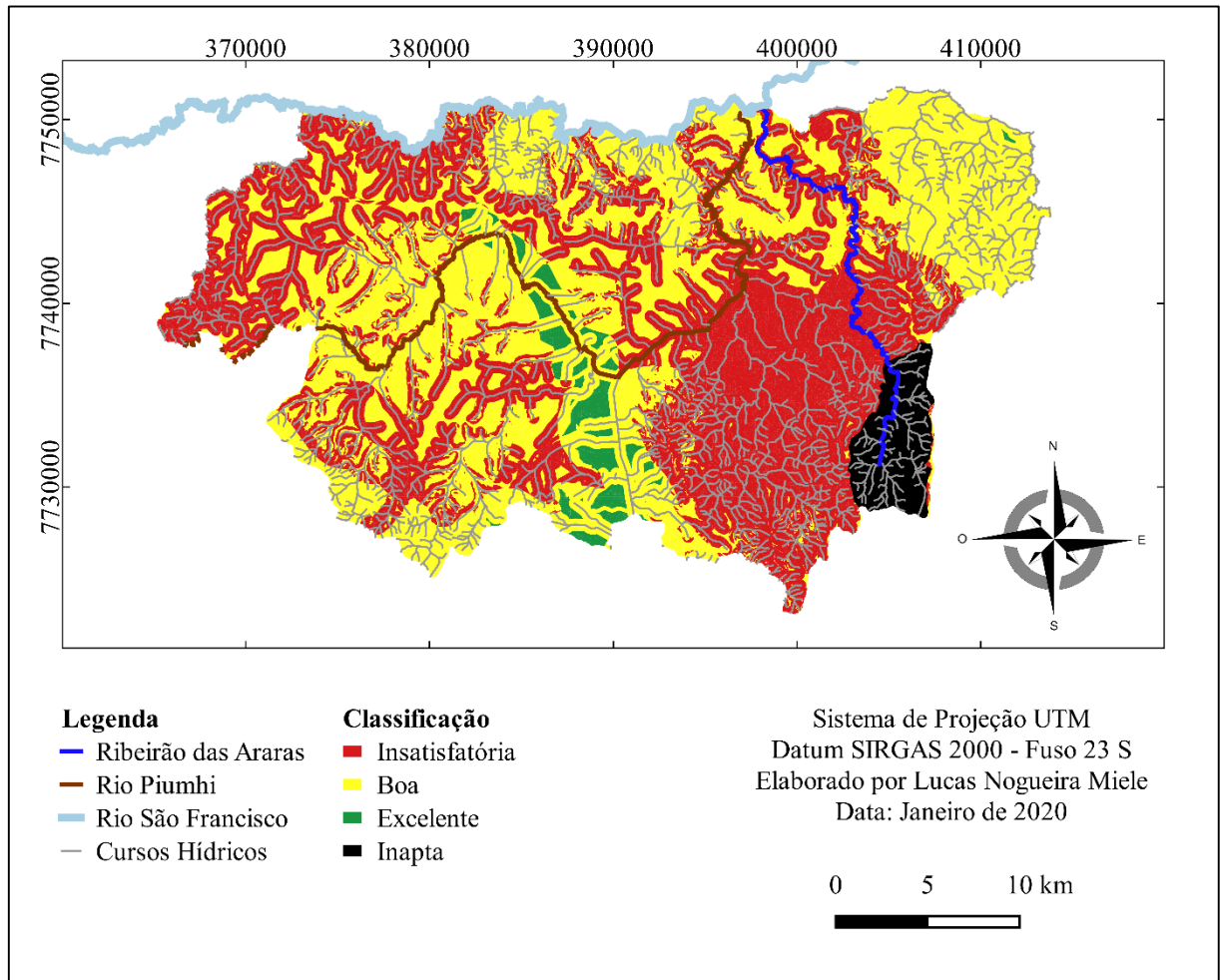
Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Vale ressaltar que áreas classificadas com nota 10, baixa declividade, podem apresentar locais de várzea devido à proximidade com cursos hídricos, como pode-se notar com clareza o percurso do Rio Piumhi. Isso pode ser compensado pela análise do critério da Distância dos Recursos Hídricos Superficiais que abrange grande parte localizada em “área não sujeita a eventos de inundação, situada a uma distância mínima de 300 metros de cursos d’água ou qualquer coleção hídrica” (MINAS GERAIS, 2008, p. 01).

## 5.8 Análise sistêmica

Na Figura 24 está demonstrado o mapa de classificação final, de acordo com os critérios avaliados nesse estudo. O Apêndice A apresenta o mesmo mapa em escala ampliada.

Figura 24 – Mapa Final de Classificação de Áreas no Município de Piumhi-MG



Fonte: Arquivo do autor, 2020.

Ao analisá-lo pode-se notar aptidão excelente numa faixa da região central, no centro-sul e nordeste do município, que de início são consideradas áreas que mais atendem aos critérios considerados. Essas áreas apresentaram maior aptidão, possivelmente, por apresentarem terrenos com baixa declividade, solos superficiais com baixa taxa de infiltração e melhor distância dos núcleos populacionais. Já as áreas consideradas como de boa aptidão tiveram notas mais baixas, provavelmente, pelas características do solo com alta taxa de infiltração e maiores declividades. As áreas insatisfatórias, provavelmente, tiveram essa classificação por estarem muito próximas de recursos hídricos ou dos núcleos populacionais.

Entretanto, diversos critérios não foram levados em consideração nesse estudo devido à indisponibilidade de dados e/ou complexidade de seu estudo. Alguns desses critérios que podem ser citados são:

- Profundidade dos lençóis freáticos: dificuldade de obtenção dos dados sendo necessário realização de estudos de campo;
- Geomorfologia: complexidade na análise dos dados e extenso número de variáveis;
- Titulação de área: necessário a realização de levantamento de dados levando em consideração o possível valor de desapropriação de culturas agrícolas e/ou impacto ambiental pela retirada da vegetação natural;
- Vida útil: o planejamento da implantação do aterro sanitário deve levar em conta o crescimento populacional, logo, caso haja um consorciamento com municípios limítrofes esses devem ser considerados, conseqüentemente, aumentando a área exigida.

Portanto, esse estudo é caracterizado como uma etapa preliminar e deve ser incorporado a outras pesquisas que contemplem diferentes critérios essenciais para validação da área de implantação, assim, tornando a seleção mais consistente e mais perto do território ideal, considerando todos os aspectos dos meios físico, biótico e socioeconômico.

Por fim, ressalta-se que o aterro controlado de Piumhi está localizado em uma área classificada como de boa aptidão. Portanto, recomenda-se um futuro estudo aprofundado sobre a área do aterro controlado, uma vez que se trata de propriedade do município, além de estar em área já degradada e afetada pelo empreendimento em uso.

## 6 CONCLUSÃO

Concluiu-se que o mapa de seleção elaborado atendeu aos objetivos propostos ao classificar as áreas em boas, excelentes e insatisfatórias para a implantação de aterros sanitários, considerando os critérios deste trabalho. Dessa forma, pode-se notar que o território possui locais com excelente aptidão, limitando-se a análise aos aspectos considerados, devido, principalmente, a baixa declividade, a característica geotécnica de baixa taxa de infiltração e a distância adequada dos núcleos populacionais para com a economia de transporte. Há vasta região com boa aptidão, as quais tiveram suas notas mais baixas, possivelmente, devido às características geotécnicas de solo de alta taxa de infiltração, declividade mais elevadas e proximidade com os cursos hídricos. É notório que o município apresentou aptidão para a instalação do aterro, considerando esta análise prévia de alguns critérios de seleção.

Entretanto, houve limitações na pesquisa. O *shapefile* utilizado para a característica geotécnica do solo apresenta apenas a classificação da camada superficial, sem considerar a profundidade. Assim, ao ser sondado o local pode-se atingir outra tipologia com diferentes aspectos. Outro quesito que não foi levado em consideração é o de profundidade dos lençóis freáticos que correlacionados com a característica do solo pode apresentar proximidade com a superfície do terreno, podendo alterar significativamente a aptidão de uma área. Dessa forma, sugere-se para futuras considerações uma análise sobre a geomorfologia voltada para a aplicação de aterro sanitário.

O método selecionado apresentou uma sistemática intuitiva de ser aplicada permitindo indicar, mesmo que de forma preliminar, as áreas mais adequadas para a implantação do aterro sanitário no município de Piumhi. Ao aliar o processo de seleção de áreas a um sistema de informações geográficas e técnicas de geoprocessamento reduziu-se o tempo para elaboração dos mapas, assim como facilitou a análise espacial dos aspectos analisados.

Analisando o modelo de classificação geral da matriz, pode-se dizer que possui grande abrangência por aplicar o somatório das notas, não fazendo a exclusão direta de nenhuma área. Esse método torna-se fraco para extensos territórios, pois a seleção resultante é muito ampla. Portanto, para pesquisas posteriores um modo de minorar a quantidade de locais faz-se por multiplicar essas notas, assim, realizando uma exclusão imediata das pontuações zero, restringindo as localidades ditas irregulares.

O presente trabalho focou apenas neste município, sendo isso um limitador do estudo. Deve-se ressaltar a relevância de pesquisas que abranjam mais critérios obrigatórios como: distância para o lençol freático, potencial hídrico, fauna e flora, titulação da área,

legislação municipal, vida útil do aterro, espessura do solo, entre outros. Além de áreas que contemplem os municípios de um possível consórcio intermunicipal assim, determinando a localização do empreendimento mais adequada aos diversos critérios socioambientais e volumes de resíduos gerados por todos os municípios, caso os mesmos optem por uma operação consorciada.

Apesar de Piumhi apresentar aptidão para a instalação do aterro sanitário a implantação do Aterro Sanitário pode ser dispendiosa, devido ao alto custo inicial do empreendimento. Desse modo, para estudos futuros indica-se a ampliação da área de estudo para os municípios que fazem parte do CICANASTRA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 8419/1992 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 7. 1992.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e**, Brasília, 2007.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. **IPI incidente sobre os produtos que menciona**, Brasília, 2010.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Brasília, Ago. 2010.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Ministério do Meio Ambiente**. 2010. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos>. Acesso em: 08 jan 2020.

CÂMARA MUNICIPAL DE PIUMHI. **Dados Gerais**. 2017. Disponível em: [http://www.camarapiumhi.mg.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=56&Itemid=76](http://www.camarapiumhi.mg.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=56&Itemid=76). Acesso em: 08 Jan. 2020.

CETESB. Os critérios para a implantação de Aterros Sanitários. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. 2016. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/2016/07/14/os-criterios-para-a-implantacao-de-aterros-sanitarios/>. Acesso em: 24 maio 2020.

CICANASTRA. CICANASTRA. **Consórcio Intermunicipal da Serra da Canastra, Alto São Francisco e Médio Rio Grande**. 2013. Disponível em: <http://cicanastra.com.br/cicanastra/>. Acesso em: 23 Nov. 2019.

CNM. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. **Consórcios Públicos Intermunicipais: uma alternativa à gestão pública**, Brasília, 2016. 108.

ELK, A. G. H. P. V. Redução de emissões na disposição final. **Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos**, Rio de Janeiro, 2007. 44.

EMBRAPA. Solos Brasileiros. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>. Acesso em: 03 abril 2020.

FEAM. **Cartilha de Orientações - Consórcios públicos para gestão de resíduos sólidos**. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte, p. 17. 2016.

FEAM. PANORAMA DA DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS. **Fundação Estadual do Meio Ambiente**. 2018. Disponível em: [http://www.feam.br/images/stories/2018/RESIDUOS/MINAS\\_SEM\\_LIXOES/Relat%C3%B3rio\\_de\\_Progresso\\_2018\\_-\\_PANORAMA\\_RSU\\_Ano\\_base\\_2017\\_FINAL-\\_junho\\_2018.pdf](http://www.feam.br/images/stories/2018/RESIDUOS/MINAS_SEM_LIXOES/Relat%C3%B3rio_de_Progresso_2018_-_PANORAMA_RSU_Ano_base_2017_FINAL-_junho_2018.pdf). Acesso em: 06 Jan. 2020.

FREIRE, G. J. D. M. **Análise de Municípios Mineiros quanto à Situação de seus Lixões**. Departamento de Cartografia e Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 117. 2009.

IBGE. **Perfil dos Municípios Brasileiro 2015**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, p. 54. 2016.

IBGE. Piumhi. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/piumhi/panorama>. Acesso em: 08 Jan. 2020.

ICMBIO. **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade**. 2019. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/>. Acesso em: 12 Nov. 2019.

INPE, I. N. D. P. E. Introdução ao Geoprocessamento. **Manuais: Tutorial de Geoprocessamento**. 2006. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao\\_geo.html](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html). Acesso em: 08 Jan. 2020.

IPT, C. E. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, p. 374. 2018.

LINO, I. C. **Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: análise comparativa de métodos**. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, p. 99. 2007.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 52, de 14 de dezembro de 2001. **Convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistema adequado de disposição**, Minas Gerais, 2001.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 118, de 27 de junho de 2008. **Altera os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa 52/2001, estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado, e dá outras providências.**, Belo Horizonte, 2008.

MINAS GERAIS. Lei Estadual nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009. **Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos**, Belo Horizonte, 2009.

MINAS GERAIS. Lei Estadual nº 20.922, de 16 de outubro de 2013. **Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado**, Belo Horizonte, 2013.

MMA. **Ministério do Meio Ambiente**. 2019. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/o-que-sao>. Acesso em: 12 Nov. 2019.

NETO, J. T. D. O. **Determinação de áreas favoráveis à implantação de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos para o município de Piumhi-MG**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 54. 2011.

PERALTA, L. R.; ANTONELLO, E. T. Desafio enfrentado pelos municípios de pequeno porte para atender à política nacional de resíduos sólidos: o uso do consórcio intermunicipal. **XI - ENCONTRO NACIONAL DA ANPEGE**, Presidente Prudente, SP, 9 Out. 2015. 4018-4029.

PIUMHI. Lei nº 2091/2012, de 21 de agosto de 2012. **Declara como patrimônio ambiental do município de Piumhi a sub-bacia do Ribeirão Araras e das outras providências.**, Piumhi, Ago. 2012. 5.

PIUMHI. Lei Complementar nº 66/2019, de 02 de setembro de 2019. **Dispõe sobre a fixação dos limites do perímetro urbano da cidade de Piumhi e dá outras providências**, Piumhi, 2019.

PORTELLA, M. O.; RIBEIRO, J. C. J. Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, Caxias do Sul, v. 4, n. 1, p. 115-134, Jan./Jun. 2014.

PORTELLA, M. O.; RIBEIRO, J. C. J. Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos. **Revista Direito Ambiental e sociedade**, Caxias do Sul, v. 4, n. 1, p. 115-134, Jan./Jun. 2014.

RODRIGUES, C. Você sabe o que é Logística Reversa? **SEGS**. 2018. Disponível em: <https://www.segs.com.br/demais/115486-voce-sabe-o-que-e-logistica-reversa>. Acesso em: 08 Jan. 2020.

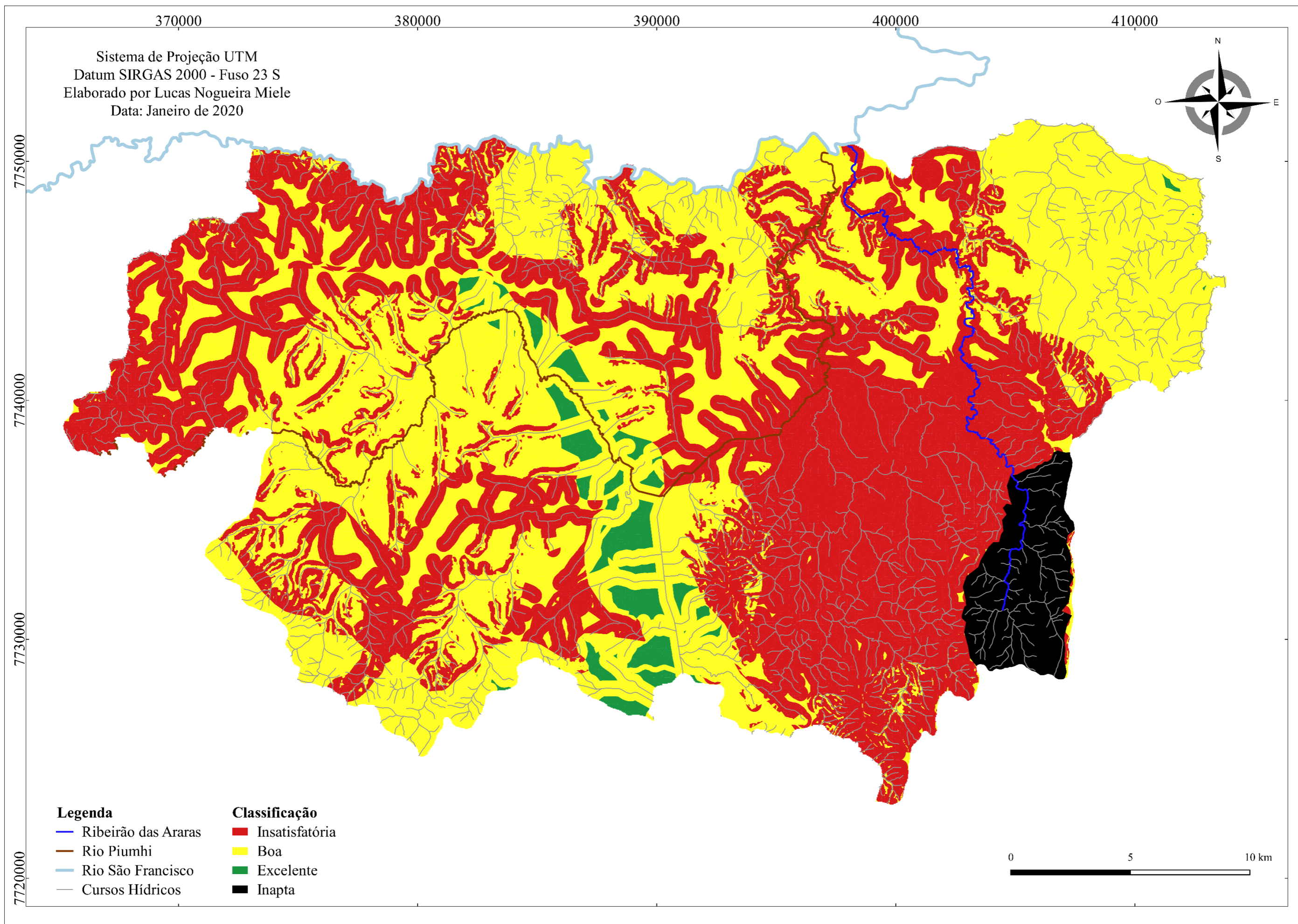
ROSA, R. **Introdução ao geoprocessamento**. Universidade Federal de Uberlândia - Instituto de Geografia - Laboratório de Geoprocessamento. Uberlândia, p. 142. 2013.

SILVA, N. L. D. S. E. **Aterro Sanitário para Resíduos Sólidos Urbanos - RSU - Matriz para Seleção de Área de Implantação**. Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana, p. 68. 2011.

VG RESÍDUOS. Como funciona o aterro sanitário? **VGRESÍDUOS**. 2018. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/como-funciona-o-aterro-sanitario/>. Acesso em: 07 Jan. 2020.

VIASOLO. **Sustentabilidade**. 2017. Disponível em: <http://www2.viasolo.com.br/?sustentabilidade=educacao-ambiental>. Acesso em: 07 Jan. 2020.

**Apêndice A – MAPA FINAL DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS NO MUNICÍPIO DE  
PIUMHI-MG**



## Anexo A – MATRIZ DE SELEÇÃO PARA ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

MATRIZ DE SELEÇÃO PARA ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS					
Critérios Ambientais					
Critério de seleção	Observações	Faixa de Avaliação	Nota	Peso	
Características geotécnicas do solo - CGS	A condutividade hidráulica é o parâmetro de referência desse item pois avalia a potencialidade de percolação de líquidos no solo São preferíveis solos com certa impermeabilidade natural, com características argilosas e nunca arenosas.	Infiltração alta: $<10^{-3}$ cm/s	2	11	
		Infiltração média: $<10^{-3}$ - $10^{-4}$ cm/s	4		
		Infiltração baixa: $<10^{-4}$ - $10^{-5}$ cm/s	8		
		Infiltração muito baixa: $<10^{-5}$ cm/s	10		
Distância para os recursos hídricos superficiais - DRHSup	A distância mínima adotada visa atender a Portaria nº 124, de 20/08/1980, do Ministério do Interior, que estabelece que "[...]construções ou estruturas que armazenam substâncias capazes de causar poluição hídrica, devem ficar localizadas a uma distância mínima de 200 (duzentos) metros das coleções hídricas ou cursos d'água mais próximos	< 200 metros	0	11	
		200 - 499 metros	6		
		500 - 1000 metros	8		
		> 1000 metros	10		
Distância para os recursos hídricos subterrâneos (lençol freático) - DRHSub	A obtenção da distância do lençol freático pode ser conseguida com a execução de sondagens na área, através da Companhia de Abastecimento de Água do município, ou ainda, se a captação for feita em poços subterrâneos, essa informação deverá existir no banco de dados da empresa.	Para aterros com impermeabilização inferior através de manta plástica sintética	<1,5 metros	0	11
		1,5 - 2,5 metros	2		
		2,5 - 4,5 metros	8		
		>4,5 metros	10		
	Para aterros com impermeabilização inferior através de camada de argila	<2,5 metros	0	11	
		2,5 - 3,5 metros	2		
		3,5 - 5,5 metros	8		
		>5,5 metros	10		
Potencial hídrico - PH	A extensão da bacia de drenagem deve ser avaliada, de maneira que aquela que possuir menor extensão seja privilegiada, evitando o ingresso de grandes volumes de água de chuva na área do aterro. Áreas com existência de fraturas ou falhas devem ser evitadas.	Alto potencial hídrico (com presença de falhas e fraturas)	0	9	
		Médio potencial hídrico	4		
		Baixo potencial hídrico	8		
Fauna e flora - FF	Deve-se avaliar as espécies animais existentes na área do aterro e nas proximidades, bem como as espécies vegetais e possíveis efeitos da sua supressão, destacando a existência de espécies indicadoras de qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção	Presença	0	9	
		Ausência	10		

MATRIZ DE SELEÇÃO PARA ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS				
Critérios de Uso e Ocupação do Solo				
Critério de seleção	Observações	Faixa de Avaliação	Nota	Peso
Titulação da área - TA	Devem ser considerados os custos nos eventuais processos de desapropriação e aquisição do terreno, atentando para a regularidade da documentação e a situação fundiária dos imóveis, evitando problemas futuros para a prefeitura (Monteiro e Zveibil, 2001)	Propriedades pertencentes a prefeitura	10	4
		Propriedades pertencentes a instituições ou grandes proprietários	7	
		Propriedades pertencentes a pequenos proprietários	5	
Distância dos núcleos populacionais - DNP	Na contemplação dessa variável deve-se evitar grandes distâncias dos núcleos populacionais (para reduzir custos com transporte) e manter um afastamento aceitável pela população vizinha.	< 500 metros	0	11
		500 - 1000 metros	6	
		1001 - 2000 metros	8	
		>15001 metros	8	
		>2001 e □ 15000 metros	10	
Legislação municipal - LM	A legislação do município deve ser analisada visto que é possível que existam leis mais rigorosas, ou restritivas, que as de âmbito estadual e/ou federal. Com relação aos aspectos legais, deverão ser avaliados Lei de Uso e Ocupação do Solo, Código de Posturas, Código de Obras, Plano Diretor (CORREA e LANÇA), entre outros. Vale salientar que se a área em estudo for "sensível", segundo definição da NBR 13896 (ABNT, 1997), sua utilização como aterro sanitário deve ser restringida	Pontuação caso a caso	--	--

MATRIZ DE SELEÇÃO PARA ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS					
Critérios Operacionais					
Critério de seleção	Observações		Faixa de Avaliação	Nota	Peso
Economia de transporte - ET	A economia de transporte está diretamente ligada à distância em relação ao centro gerador. Sua consideração deve avaliar os custos operacionais (combustível, tempo de utilização do equipamento, etc) envolvidas no transporte do lixo coletado para que não se tornem uma despesa alta para o município e inviabilizem a manutenção e operação do aterro sanitário atentando para as condições das vias de acesso. A avaliação deve ser desdobrada em duas partes:	<u>Distância de Vias</u> - "Para a distância de vias foi adotado o valor de 100 metros do eixo de rodovias federais e estaduais seguindo os trabalhos de Metropolitan (1998), Vieira <i>et al</i> (1999) e Gomes <i>et al.</i> , (2001)" (GOMES, 2003)	<100 metros	0	11
			100 - 499 metros	3	
			500 - 1000 metros	4	
			>1000 metros	5	
		<u>Tipo de pavimento/relevo</u> -	Estrada de terra - Relevo muito acidentado	1	
			Estrada de terra - Relevo pouco acidentado	3	
Pista asfaltada	5				
Vida útil - VU	A NBR 13896 (ABNT, 1997) indica como avaliação técnica o tamanho disponível e a vida útil de aterros de resíduos não perigosos, recomendando a construção dos mesmos com vida útil mínima de 10 anos. Para previsão desse período consideram-se as dimensões da área sujeita a implantação do aterro, suas características topográficas, a geração de resíduos e o crescimento populacional.		< 10 anos	2	7
			=10 anos	5	
			≥15 anos	10	
Espessura do solo - ES	As áreas mais propícias em relação a esse quesito são aquelas que já possuem, ou estão próximas, de jazidas de material de empréstimo para confecção de camadas de cobertura e bases de aterro, garantindo de forma permanente a cobertura dos resíduos a baixo custo (MONTEIRO e ZVEIBIL, 2001, p.154). A existência no local de solo de boa compactação qualifica a área para implantação de aterros sanitários. A análise da espessura do horizonte B é um bom indicador para avaliar esse critério, visto que "a camada A normalmente é retirada nas etapas iniciais de movimentação de terra e obras de infra-estrutura". (GOMES, 2003, p.59)	Espessura do solo B	<0,5m	0	7
			0,5 - 0,9 metros	1	
			1 - 2 metros	3	
			>2 metros	5	
		Disponibilidade de solo para cobertura	100% no local	5	
			50% no local e restante até até 5km	3	
100% até 5km	2				