

Acta Ciências Ambientais do IFTM

ORGANIZAÇÃO

ADLEY CAMARGO ZIVIANI

ANTÔNIO CARLOS BARRETO

CLÁUDIO MÁRCIO DE CASTRO

DANIEL PENA PEREIRA

RENATO FARIAS DO VALLE JÚNIOR

VERA LÚCIA ABDALA



Acta Ciências Ambientais do IFTM

ORGANIZAÇÃO

ADLEY CAMARGO ZIVIANI

ANTÔNIO CARLOS BARRETO

CLÁUDIO MÁRCIO DE CASTRO

DANIEL PENA PEREIRA

RENATO FARIAS DO VALLE JÚNIOR

VERA LÚCIA ABDALA



AMPLLA
EDITORA



2022 - Editora Amplla

Copyright © Editora Amplla

Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares

Design da Capa: Editora Amplla

Projeto Gráfico e Diagramação: Higor Costa de Brito

Acta Ciências Ambientais do IFTM está licenciado sob CC BY 4.0.



Esta licença exige que as reutilizações deem crédito ao criador. Ele permite que os reutilizadores distribuam, remixem, adaptem e construam o material em qualquer meio ou formato, mesmo para fins comerciais.

O conteúdo da obra e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, não representando a posição oficial da Editora Amplla. É permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores. Todos os direitos para esta edição foram cedidos à Editora Amplla.

ISBN: 978-65-88332-95-5

DOI: 10.51859/amplla.aca955.1122-0

Editora Amplla

Campina Grande – PB – Brasil
contato@ampllaeditora.com.br
www.ampllaeditora.com.br



2022

CONSELHO EDITORIAL

Andréa Cátia Leal Badaró – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Andréia Monique Lermen – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Antoniele Silvana de Melo Souza – Universidade Estadual do Ceará
Aryane de Azevedo Pinheiro – Universidade Federal do Ceará
Bergson Rodrigo Siqueira de Melo – Universidade Estadual do Ceará
Bruna Beatriz da Rocha – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Bruno Ferreira – Universidade Federal da Bahia
Caio César Costa Santos – Universidade Federal de Sergipe
Carina Alexandra Rondini – Universidade Estadual Paulista
Carla Caroline Alves Carvalho – Universidade Federal de Campina Grande
Carlos Augusto Trojaner – Prefeitura de Venâncio Aires
Carolina Carbonell Demori – Universidade Federal de Pelotas
Cícero Batista do Nascimento Filho – Universidade Federal do Ceará
Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Daniela de Freitas Lima – Universidade Federal de Campina Grande
Darlei Gutierrez Dantas Bernardo Oliveira – Universidade Estadual da Paraíba
Denise Barguil Nepomuceno – Universidade Federal de Minas Gerais
Dylan Ávila Alves – Instituto Federal Goiano
Edson Lourenço da Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
Elane da Silva Barbosa – Universidade Estadual do Ceará
Érica Rios de Carvalho – Universidade Católica do Salvador
Gabriel Gomes de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Gilberto de Melo Junior – Instituto Federal do Pará
Givanildo de Oliveira Santos – Instituto Brasileiro de Educação e Cultura
Higor Costa de Brito – Universidade Federal de Campina Grande
Isane Vera Karsburg – Universidade do Estado de Mato Grosso
Israel Gondres Torné – Universidade do Estado do Amazonas
Italan Carneiro Bezerra – Instituto Federal da Paraíba
Ivo Batista Conde – Universidade Estadual do Ceará
Jaqueline Rocha Borges dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Jessica Wanderley Souza do Nascimento – Instituto de Especialização do Amazonas
João Henriques de Sousa Júnior – Universidade Federal de Santa Catarina
João Manoel Da Silva – Universidade Federal de Alagoas
João Vitor Andrade – Universidade de São Paulo
Joilson Silva de Sousa – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
José Cândido Rodrigues Neto – Universidade Estadual da Paraíba
Jose Henrique de Lacerda Furtado – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Josenita Luiz da Silva – Faculdade Frassinetti do Recife
Josiney Farias de Araújo – Universidade Federal do Pará
Karina de Araújo Dias – SME/Prefeitura Municipal de Florianópolis
Katia Fernanda Alves Moreira – Universidade Federal de Rondônia
Lafze Lantyer Luz – Universidade Católica do Salvador
Lindon Johnson Pontes Portela – Universidade Federal do Oeste do Pará
Lucas Araújo Ferreira – Universidade Federal do Pará
Lucas Capita Quarto – Universidade Federal do Oeste do Pará
Lúcia Magnólia Albuquerque Soares de Camargo – Unifacisa Centro Universitário
Luciana de Jesus Botelho Sodrê dos Santos – Universidade Estadual do Maranhão
Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Luiza Catarina Sobreira de Souza – Faculdade de Ciências Humanas do Sertão Central
Manoel Mariano Neto da Silva – Universidade Federal de Campina Grande
Marcelo Alves Pereira Eufrazio – Centro Universitário Unifacisa
Marcelo Williams Oliveira de Souza – Universidade Federal do Pará
Marcos Pereira dos Santos – Faculdade Rachel de Queiroz
Marcus Vinicius Peralva Santos – Universidade Federal da Bahia
Marina Magalhães de Moraes – Universidade Federal de Campina Grande

Michele Antunes – Universidade Feevale
Milena Roberta Freire da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Nadja Maria Mourão – Universidade do Estado de Minas Gerais
Natan Galves Santana – Universidade Paranaense
Nathalia Bezerra da Silva Ferreira – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
Neide Kazue Sakugawa Shinohara – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Neudson Johnson Martinho – Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Mato Grosso
Patrícia Appelt – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Paula Milena Melo Casais – Universidade Federal da Bahia
Paulo Henrique Matos de Jesus – Universidade Federal do Maranhão
Rafael Rodrigues Gomides – Faculdade de Quatro Marcos
Reângela Cíntia Rodrigues de Oliveira Lima – Universidade Federal do Ceará
Rebeca Freitas Ivanicska – Universidade Federal de Lavras
Renan Gustavo Pacheco Soares – Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns
Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Ricardo Leoni Gonçalves Bastos – Universidade Federal do Ceará
Rodrigo da Rosa Pereira – Universidade Federal do Rio Grande
Sabrynna Brito Oliveira – Universidade Federal de Minas Gerais
Samuel Miranda Mattos – Universidade Estadual do Ceará
Shirley Santos Nascimento – Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia
Silvana Carloto Andres – Universidade Federal de Santa Maria
Sílvia de Almeida Junior – Universidade de Franca
Tatiana Paschoalette Rodrigues Bachur – Universidade Estadual do Ceará
Telma Regina Stroparo – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Thayla Amorim Santino – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Virgínia Maia de Araújo Oliveira – Instituto Federal da Paraíba
Virginia Tomaz Machado – Faculdade Santa Maria de Cajazeiras
Walmir Fernandes Pereira – Miami University of Science and Technology
Wanessa Dunga de Assis – Universidade Federal de Campina Grande
Wellington Alves Silva – Universidade Estadual de Roraima
Yáscara Maia Araújo de Brito – Universidade Federal de Campina Grande
Yasmin da Silva Santos – Fundação Oswaldo Cruz
Yuciara Barbosa Costa Ferreira – Universidade Federal de Campina Grande

2022 - Editora Ampla

Copyright © Editora Ampla

Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares

Design da Capa: Editora Ampla

Projeto Gráfico e Diagramação: Higor Costa de Brito

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Acta ciências ambientais do IFTM [livro eletrônico]/
organização Adley Camargo Ziviani... [et al.]. -- Campina
Grande : Editora Ampla, 2022.
194 p.

Formato: PDF

ISBN: 978-65-88332-95-5

1. Meio ambiente. 2. Solo - Uso e ocupação.
3. Geoprocessamento. 4. Resíduos sólidos. I. Ziviani,
Adley Camargo. II. Título.

CDD-363.7

Sueli Costa - Bibliotecária - CRB-8/5213
(SC Assessoria Editorial, SP, Brasil)

Índices para catálogo sistemático:

1. Meio ambiente Problemas ambientais 363.7

Editora Ampla

Campina Grande - PB - Brasil
contato@ampllaeditora.com.br
www.ampllaeditora.com.br

PREFÁCIO

O Brasil, atualmente, é o quinto país mais populoso do mundo, atrás apenas de China, Índia, Estados Unidos e Indonésia. O número de habitantes do Brasil é reflexo de um acelerado processo de crescimento que ocorreu, principalmente, no século XX, como resultado dos elevados índices de natalidade e imigração no país. Por volta dos anos de 1940, com o desenvolvimento de vacinas e tratamentos mais eficazes para as doenças, houve um significativo aumento da qualidade e da expectativa de vida das pessoas.

Da ampliação do processo de urbanização e de ocupação desordenada do solo observada nas últimas décadas resultou o aumento do consumo de recursos naturais e de produtos industrializados. Essa mudança no perfil de consumo acarretou em diversos problemas ambientais tais como: maior geração de resíduos sólidos, degradação dos ecossistemas e aquecimento global.

A aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, através da lei 12.305/2010, qualificou e deu novos rumos ao debate acerca de tais problemas. A operacionalização do conceito de responsabilidade compartilhada levou à percepção de que a sociedade, como um todo, deve ser considerada responsável pela gestão ambientalmente correta de seus resíduos sólidos. Em 2011, iniciou-se o processo de elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, através do qual os governos federal, estadual e municipal passam a ser responsáveis pela elaboração e implementação de planos de gestão de resíduos sólidos, identificando os tipos de resíduos gerados e apresentando formas de gestão e de gerenciamento específicas.

Os desafios inerentes a esse novo modelo de gestão, por sua vez, exigem daqueles que desenvolvem a ciência, a apresentação de análises e soluções. É precisamente esse o contexto de inserção do livro Acta Ciências Ambientais do IFTM: reunião de Trabalhos de Conclusão de Curso realizados no Curso de Pós-Graduação lato sensu em Geoprocessamento do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – Campus Uberaba, no ano de 2021. Este livro dá espaço a estudos de verificação, através de geotecnologias, de locais ambientalmente adequados à implementação de aterros sanitários e análises temporais de uso e ocupação do solo com o auxílio de mapeamento digital em

diferentes cidades que vão desde a Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba até o extremo oeste baiano.

Os organizadores do livro, assim como os autores dos capítulos, esperam que estes trabalhos possam contribuir para a construção de novas reflexões e pesquisas orientadas à sustentabilidade ambiental.

Desejamos a todos uma boa leitura!

Cláudio Márcio de Castro

Licenciado em Química

Doutor em Ciências, área de concentração: Química

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - ANÁLISE TEMPORAL – AMBIENTAL DAS MUDANÇAS DE USO DO SOLO EM NOVA PONTE (MG)	9
DOI: 10.51859/AMPLLA.ACA955.1122-1	
CAPÍTULO II - ANÁLISE DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA INDICAÇÃO DE ÁREAS PROPÍCIAS À IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE PARACATU-MG	27
DOI: 10.51859/AMPLLA.ACA955.1122-2	
CAPÍTULO III - IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE INDIANÓPOLIS-MG	48
DOI: 10.51859/AMPLLA.ACA955.1122-3	
CAPÍTULO IV - ÁREAS PROPÍCIAS À INSTALAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE LUÍS EDUARDO MAGALHÃES-BA .	68
DOI: 10.51859/AMPLLA.ACA955.1122-4	
CAPÍTULO V - MAPEAMENTO DIGITAL: ESTUDO ESPAÇO TEMPORAL DAS ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DEL-REI-MG.....	95
DOI: 10.51859/AMPLLA.ACA955.1122-5	
CAPÍTULO VI - GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO DIAGNÓSTICO TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA MICROBACIA DO RIBEIRÃO DOURADINHOS DE UBERLÂNDIA/MG	111
DOI: 10.51859/AMPLLA.ACA955.1122-6	
CAPÍTULO VII - ANÁLISE MULTICRITÉRIO COMO FERRAMENTA AUXILIAR PARA ESCOLHA DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DEL-REI-MG	125
DOI: 10.51859/AMPLLA.ACA955.1122-7	
CAPÍTULO VIII - MAPEAMENTO E ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE PARACATU – MG..	148
DOI: 10.51859/AMPLLA.ACA955.1122-8	
CAPÍTULO IX - ESTUDO DE CASO: DIAGNÓSTICO DE ÁREAS PROPENSAS A INSTALAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO EM NOVA PONTE (MG)	173
DOI: 10.51859/AMPLLA.ACA955.1122-9	



CAPÍTULO I

ANÁLISE TEMPORAL – AMBIENTAL DAS MUDANÇAS DE USO DO SOLO EM NOVA PONTE (MG)

DOI: 10.51859/ampla.aca955.1122-1

Carlos Roberto Mangussi Filho

Discente do curso de Especialização em Geoprocessamento
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro - IFTM
cmangussifilho@gmail.com

Gabriel Henrique de Morais Fernandes

Discente do curso de Especialização em Geoprocessamento
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro - IFTM
ghmf19@gmail.com

Daniel Pena Pereira

Professor Doutor em Produção Vegetal
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro - IFTM
danielpena@iftm.edu.br

Renato Farias do Valle Junior

Professor Doutor em Agronomia
Professor Doutor em Agr
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro - IFTM
renato@iftm.edu.br

Amilton Diniz Souza

Professor Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro - IFTM
amilton@iftm.edu.br





RESUMO


O aumento demográfico dentro das cidades e o êxodo rural são bastante observados em várias regiões do mundo. A análise espacial das mudanças da cobertura do solo é um fator determinante para o estudo dessa natureza e suas características. Pelas várias modificações ocorridas dentro de um determinado espaço temporal são observadas as diversas manifestações das alterações e seus impactos ambientais. O objetivo do projeto é realizar o diagnóstico do uso e ocupação do solo entre o período de 1988 e 2019, na cidade de Nova Ponte. A região da realização do estudo é um município do estado de Minas Geras, o qual possui a área aproximadamente de 1.111,011 Km², onde residem 16 mil pessoas. Foi usado para a realização dos processamentos o sistema de informação geográfica (SIG) QGIS 3.10 utilizando como auxílio os mapas de uso e ocupação do solo adquiridos na plataforma MapBiomias. Para a realização dos mapas de mudanças utilizou-se o complemento Semi-Automatic Classification (SCP) presente no QGIS. Com a realização dos mapas de mudanças foi observado que as classes pastagem, agricultura e formações florestais são predominantes na região analisada. Um fator interessante observado nas análises foi o aumento dos cursos d'água de 4.345,65 hectares durante o período de 1988-1998. Contudo, foi possível a partir dos resultados obtidos estabelecer correlações de fatores externos com as alterações no uso e ocupação do solo e observou-se que o SIG e o MapBiomias foram eficientes para realizar estas análises de mudanças temporais.

Palavras-chaves: cobertura do solo, espaço temporal, sistema de informação geográfica e mapas de mudanças.

1. INTRODUÇÃO

As alterações na paisagem urbana causadas pela urbanização provocam mudanças no uso e cobertura do solo que impactam o microclima urbano e geram problemas para o bem-estar da população (SILVA, 2020). No Brasil o crescimento urbano acelerado é uma realidade, ao chegar em seus contornos periféricos, ocorre massiva retirada da vegetação natural para ocupação antrópica com expansão de impermeabilização e pavimentação, acarretando danos permanentes ao sistema ambiental (SANTOS, FORMIGA e BRAGA, 2021).

A coerção gerada ao entorno dos recursos naturais, estimula especialistas na busca por ferramentas tecnológicas de conhecimentos avançados, que tragam respostas rápidas e facilitadoras. Perante tal fato, o geoprocessamento aparece como objeto apoiador, pelo fato de possuir um conjunto de técnicas que se ressaltam perante os estudos ambientais e diversos outros aspectos. O sistema de informação geográfica (SIG) tem sido comumente utilizado no estudo do uso e ocupação do solo, pois permite analisar e representar o espaço terrestre e suas características. Torna-



se facilitador na tarefa de identificar através de modelos computacionais, as informações expressivas do meio ambiente e de atividades coligadas a região de estudo (ARANHA, 2010). Estes fatores abrem a possibilidade de realizar uma vasta avaliação na área de estudo, correlacionando os valores obtidos com outros parâmetros existentes na região e cooperando na gestão do uso da terra aliado as políticas ambientais. As análises do ambiente quando realizadas por meio de mapas, são julgados com grande eficácia quando retorna informações relevantes as autoridades acerca de impactos negativos futuros (BUYUKDEMDRCD, 2012).

Mudanças antrópicas também ocorreram na cidade. O município de Nova Ponte, Minas Gerais possui mais de 1000 km² de área territorial e, sua sede, é uma cidade que tem 74 anos de história. Em meados de 1993/1994 a antiga cidade foi inundada e foi criada a nova cidade na parte mais alta da região, ao lado de onde é hoje a represa da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte.

Dentro desse contexto, estudos têm sido desenvolvidos em diversas regiões, voltados a aplicabilidade da análise espacial de mudanças de uso do solo, tornando-se apoio primordial para conhecimento da real situação em que se encontram tais locais. A relevância destas avaliações se torna fundamental, uma vez que retorna respostas por intermédio das informações obtidas sobre a situação das atividades executadas no espaço, viabilizando determinar as condições ambientais atuais (CEARÁ, 1994).

O estudo tem por objetivo de advir o diagnóstico espacial da ocupação do solo entre os períodos de 1988 a 2019, no município de Nova Ponte/MG. Buscou-se coligar as mudanças ocorridas na ocupação do solo com informações e dados históricos, assim como as questões políticas instituídas no período. Deste modo, propôs-se algumas hipóteses: (1) A partir das análises de mudanças, quais possíveis fatores causadores? e (2) o SIG é eficiente no diagnóstico temporal das mudanças no ambiente?

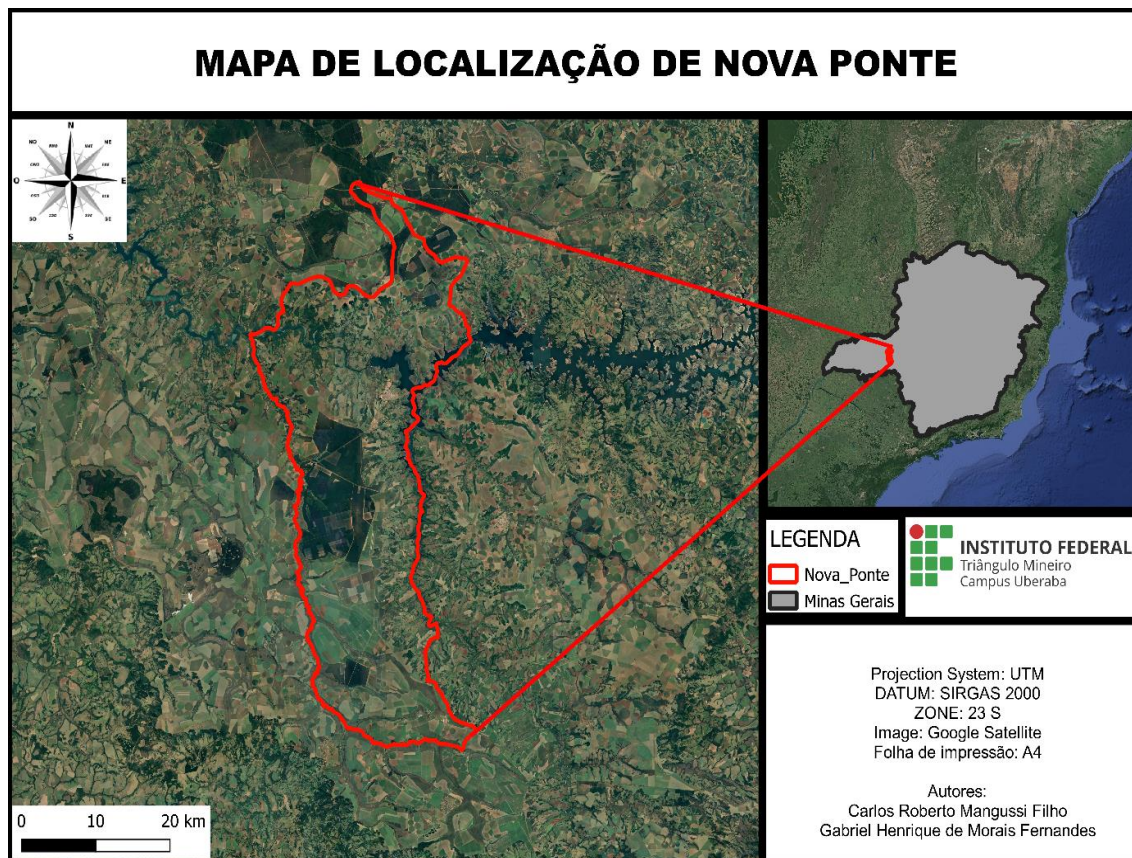
2. METODOLOGIA

2.1. ÁREA DE ESTUDO

Nova Ponte é um município localizado no Estado de Minas Gerais, correspondente as coordenadas geográficas aproximadas de 19° 9' 46" Sul e 47° 40' 42" Oeste (Figura 1). Segundo o IBGE (2021) possui uma área total aproximada de

1.111,011 Km² (111 mil hectares), com uma população correspondente a 16 mil habitantes. São municípios limítrofes: Romaria, Estrela do Sul, Indianópolis, Uberaba, Sacramento, Santa Juliana, Pedrinópolis e Iraí de Minas.


Figura 1 – Delimitação do município de Nova Ponte, Estado de Minas Gerais.



Fonte: Acervo dos Autores.

O clima da região é classificado como Tropical de Altitude (mais específicos nas áreas do sudeste com a presença de serras e planaltos com altitudes superiores a 500m) de acordo com Köppen e Geiger. A precipitação média é de 230 a 250mm nos períodos mais chuvosos, e com baixas amplitudes térmicas, com variações de no máximo 7°C a 8 °C, apresentando temperaturas amenas no verão com valores de 23°C, podendo perceber a ocorrência de geadas no inverno (PMSB, 2014).

O embasamento geológico marcado na região, remonta a era Mesozóica, pertencente à unidade do Planalto do Brasil Central, que está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná. O município se localiza na porção Norte/Nordeste desta Bacia, apresentando em sua maioria rochas do Grupo Bauru (arenitos-Formação Marília) sobrepostos pelos basaltos e aglomerados do Grupo São Bento (Basaltos – Formação Serra Geral), tendo uma pequena participação da Formação Araxá,



marcado por derrames metamórficos, presenciados no Cânion do Rio Araguari (CBH ARAGUARI, 2014).

O município de Nova Ponte apresenta variação de solos, a maioria sendo classificados de forma geral de Latossolos, onde predominam os Latossolos Vermelho Amarelos distróficos (LVAd), Latossolos Vermelho Distróficos (LVd) e se nota a presença de Nitossolo Vermelho Eutrófico (Nvef) (BRITO, 2003).

O bioma predominante na região é o Cerrado, tendo uma formação que se assemelha à Savana Africana, ocorrendo em altitudes que variam de 300m a 1600m (CBH ARAGUARI, 2014).

2.2. O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

O Sistema de Informações Geográficas é um conjunto de ferramentas para colecionar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais referentes ao espaço terrestre (ROCHA, 2020). Foi usada a ferramenta de *CrossTabulation*, mais especificadamente do complemento SCP presente no *software* QGis 3.10 e versões superiores. Este *plugin* é responsável por elaborar uma matriz de análise e comparações entre dois mapas auditados perante o seu objetivo. Para o georreferenciamento da região combinou-se o uso do Banco de Dados do MapBiomas da região (MAPBIOMAS, 2020).

2.3. PROCESSAMENTO DOS MAPAS, ANÁLISE DA OCUPAÇÃO DO SOLO E MODELAGEM

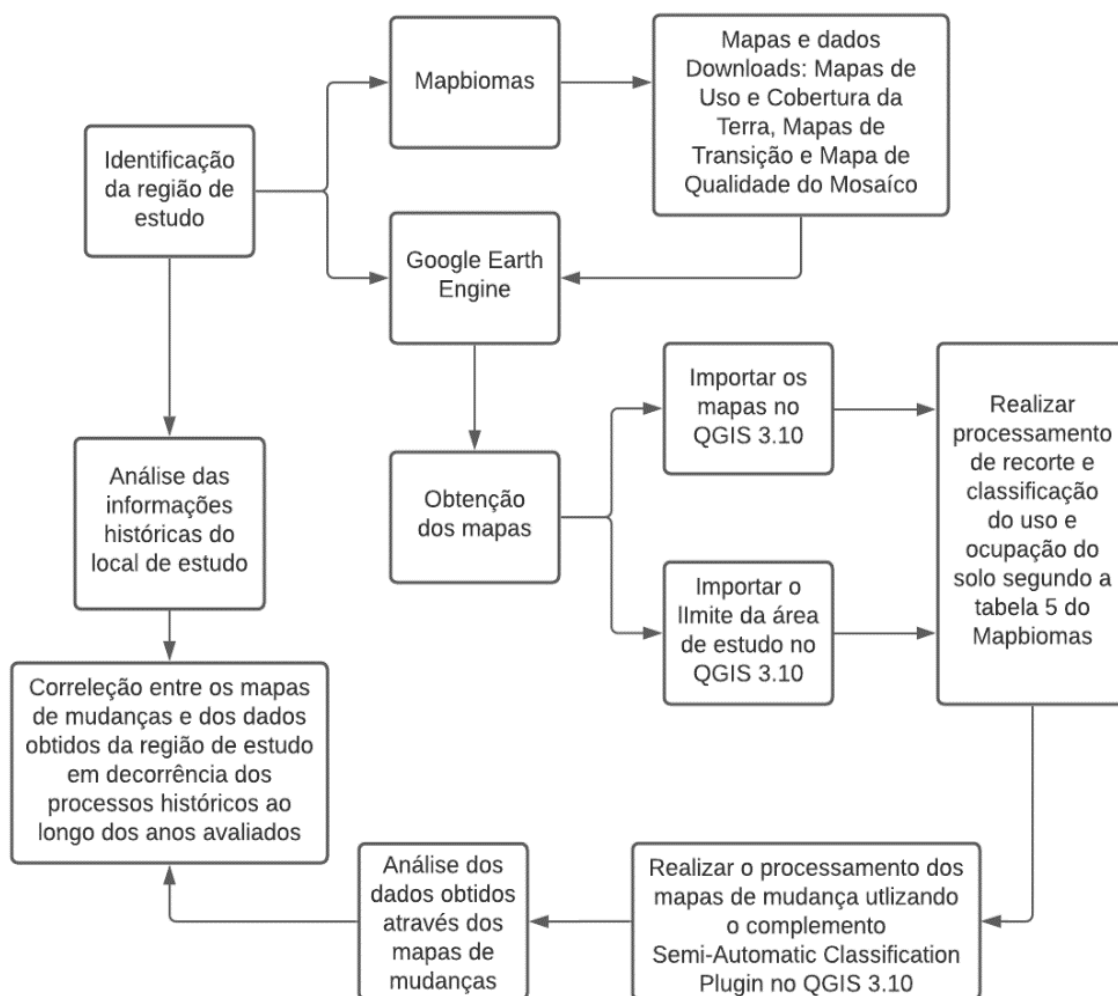
Os mapas de uso e ocupação do solo, alusivos aos anos de 1988, 1998, 2008 e 2019, foram obtidos através das plataformas MapBiomas (coleção 5 – Estado de Minas Gerais) e *Google Earth Engine* (GEE). A partir de então, o *software* QGis 3.10 ou versões superiores se faz presente no contínuo processo. O mapa de cobertura do solo referente a Minas Gerais foi delimitado para o município de Nova Ponte através de seu arquivo *shapefile*, sendo recortada no SIG adotando-se o sistema de referência de coordenadas (SRC) “SIRGAS 2000/UTM zona 23S”. A reclassificação dos mapas recortados e delimitados, permite obter como resultado de ocupação dos solos, a seguinte classificação: 1- Área de proteção permanente (APP); 2- Reflorestamento; 3- Pastagem; 4- Agricultura; 5- Área não vegetada; 6- Área urbana; 7- Cursos d’água.

Posteriormente ao recorte das imagens de uso e ocupação do solo e suas respectivas reclassificações, prosseguiu-se com a avaliação das mudanças ocorridas.

Este processo se apoiou no *plugin Land Cover Change* presente no complemento SCP do SIG – QGIS 3.10 e versões superiores.

A interpretação dos resultados foi mais pertinente e robusta pois se auxiliou de informações históricas em relação a região estudada, elaborando uma análise diagnóstica voltada ao planejamento ambiental e a todo processo evolutivo percebido durante os anos aferidos. A figura 2 mostra todo o caminho resumido para se desenvolver a modelagem dos materiais necessários ao estudo.

Figura 2 – Fluxograma geral do processamento realizado.



Fonte: Acervo dos Autores.

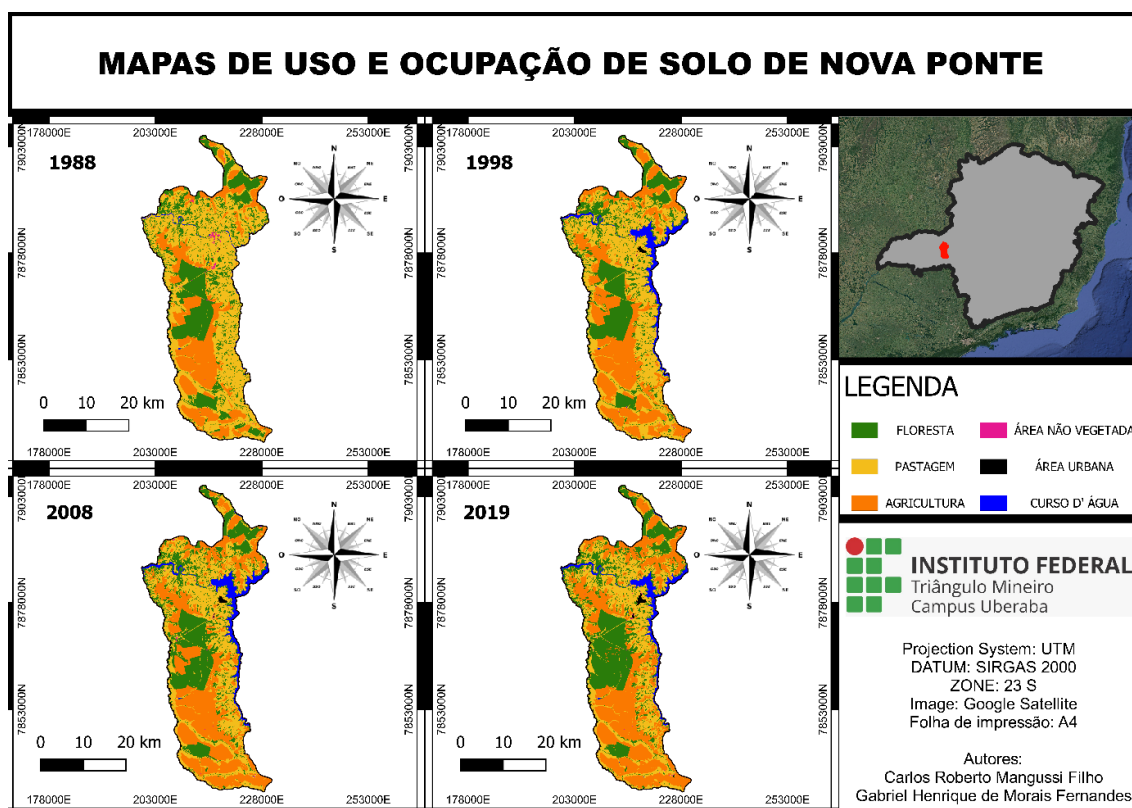
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. MAPAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Os mapas de uso e ocupação do solo para o município de Nova Ponte, quando reclassificados, retornou como resposta a variação de 6 classes (Figura 3), sendo

elas: florestas (nativas ou de reflorestamento), pastagem, agriculturas, áreas não vegetadas, zona urbana e cursos d'água.

Figura 3 – Mapas de uso e ocupação do solo de Nova Ponte.



Fonte: Acervo dos Autores.

As classificações de pastagens, agriculturas e formações florestais marcam o território com predominância durante todo período analisado, apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Dados de Ocupação do solo – 1988 a 2019

CLASSE \ ANO	1988		1998		2008		2019	
	ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)	%
FLORESTA	29.740,23	26,75	26.868,15	24,17	28.672,65	25,79	30.798,09	27,71
PASTAGEM	53.322,57	47,97	43.809,03	39,41	37.770,48	33,98	34.398,09	30,94
AGRICULTURA	27.227,79	24,49	35.398,71	31,84	39.264,57	35,32	41.282,37	37,14
ÁREAS NÃO VEGETADAS	432,09	0,39	126,09	0,11	171,45	0,15	174,06	0,16
ZONA URBANA	12,06	0,01	202,59	0,18	252,36	0,23	370,26	0,33
CURSOS D'ÁGUA	429,12	0,39	4.759,29	4,28	5.032,35	4,53	4.140,99	3,73
TOTAL	111.163,86	100,00	111.163,86	100,00	111.163,86	100,00	111.163,86	100,00

Fonte: Acervo dos Autores.

No ano de 1988 a classe de pastagem mostrava-se predominante perante a ocupação com 53.322 ha, equivalente a 47,96% do município, enquanto florestas e agricultura, 26,75% e 24,5% respectivamente. Para o ano de 1998, revela-se a contínua dominância das três classes já citadas, mas é válido ressaltar a diminuição de pastagens naturais, agora ocupando 43.809 ha (39,41%) da área total da região. Observa-se também o aumento dos cursos de água, com a contribuição de 4.759 ha (4,28%). Em 2008, tem-se a continuidade da redução de área de pastagem, agora com 37.770 ha (33,98%). Fator relevante é o contínuo aumento de agricultura que ocorre na região desde o começo da análise. Esta que passa a ser a classe de maior participação com 39.264 ha (35,32%), muito provavelmente devido ao surgimento do espelho de água da represa de Nova Ponte. Em 2019, quase nenhuma alteração significativa da cobertura do solo é presenciada, perante o que foi descrito no ano de 2008, com a manutenção de que se por um lado tem a redução de áreas de pastagem, a agricultura na região se mostra consolidada e em expansão (Tabela 1).

3.2. MUDANÇAS DE 1998 - 1998

Até a década de 80, Nova Ponte era uma pequena zona urbana onde o cotidiano girava em torno das relações com o campo (INÁCIO, 2014). Tal fato, explica a predominância das classes de pastagens, agricultura e florestas na cobertura do solo. Naquele período a cidade começou a passar por grande transformação devida à implantação de uma usina hidrelétrica, seguindo um modelo de projetos que recaiam no país desde a década de 70 (INÁCIO, 2014). Esta usina teve início da construção ainda no ano de 1987, e iniciando operações em 1994, abrigando um grande volume de água. É devido a este elemento estrutural que se nota o aumento considerável da classe de cursos de água no mapa de mudanças do período (Figura 4), esta elevação na classe foi de aproximadamente 4.345,65 hectares, representando 3,9% da área total (tabela 2).

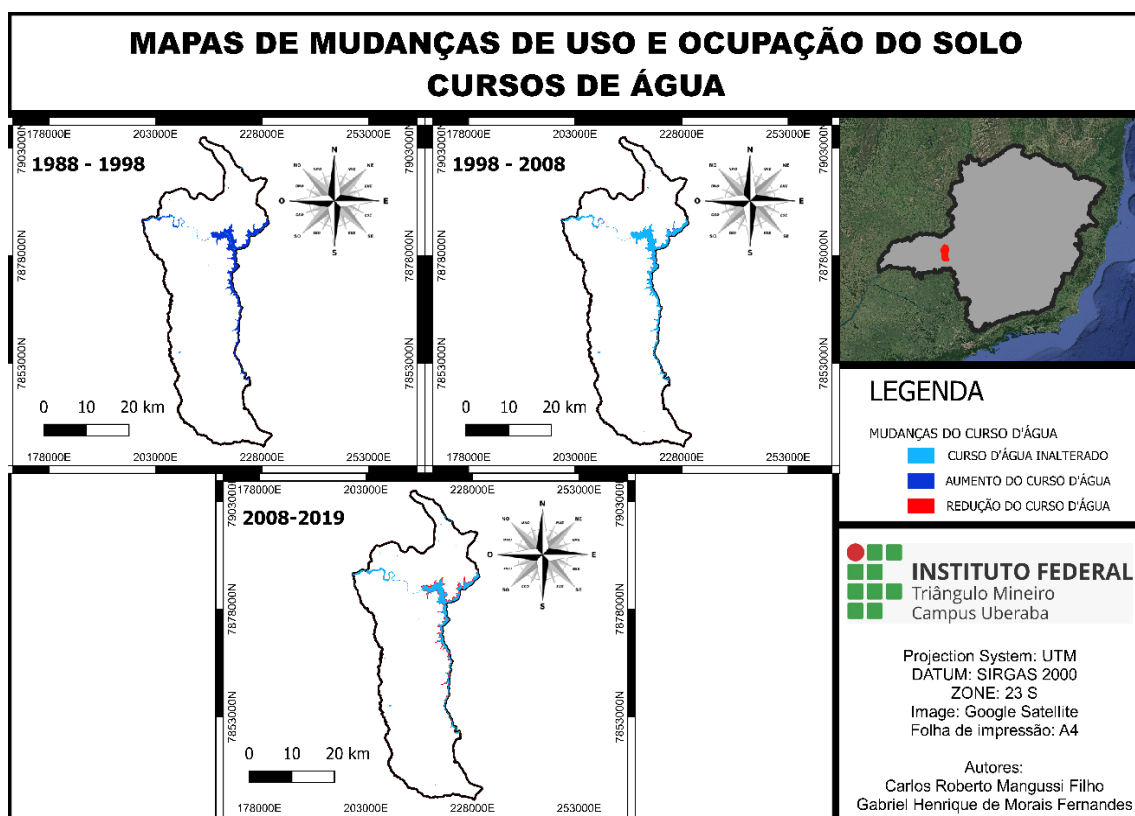
Tabela 2 – Principais dados sobre a mudança de classes 1988-1998

CLASSE	ÁREA (Hectares)
Floresta inalterada	23.751,72
Aumento de floresta	3.116,43
Redução de floresta	5.988,51
Pastagem inalterada	39.255,75
Aumento de pastagem	4.553,28
Redução de pastagem	14.066,82

CLASSE	ÁREA (Hectares)
Agricultura inalterada	25.276,32
Aumento de agricultura	10.122,39
Redução de agricultura	1.951,47
Zona urbana inalterada	12,06
Aumento de zona urbana	190,53
Redução de zona urbana	0
Cursos d'água inalterado	413,64
Aumento de cursos d'água	4.345,65
Redução de cursos d'água	15,48

Fonte: Acervo dos Autores.

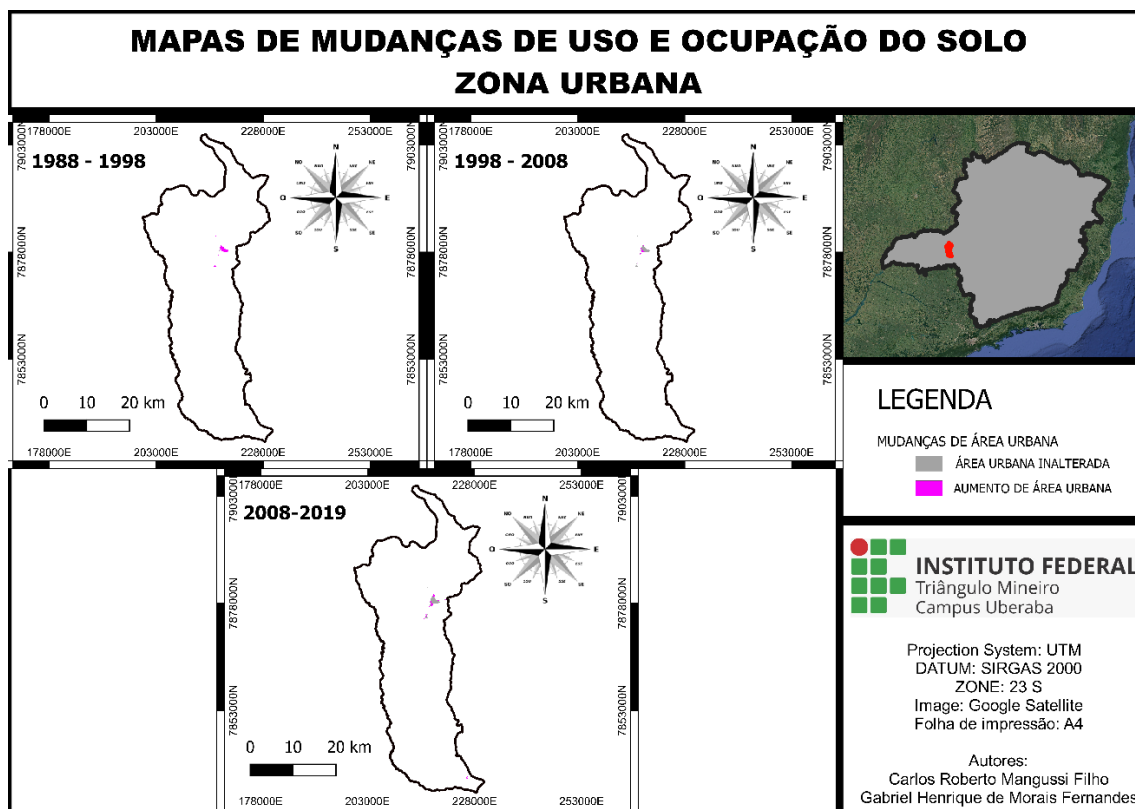
Figura 4 – Mapa de Mudanças - Cursos d'água



Fonte: Acervo dos Autores.

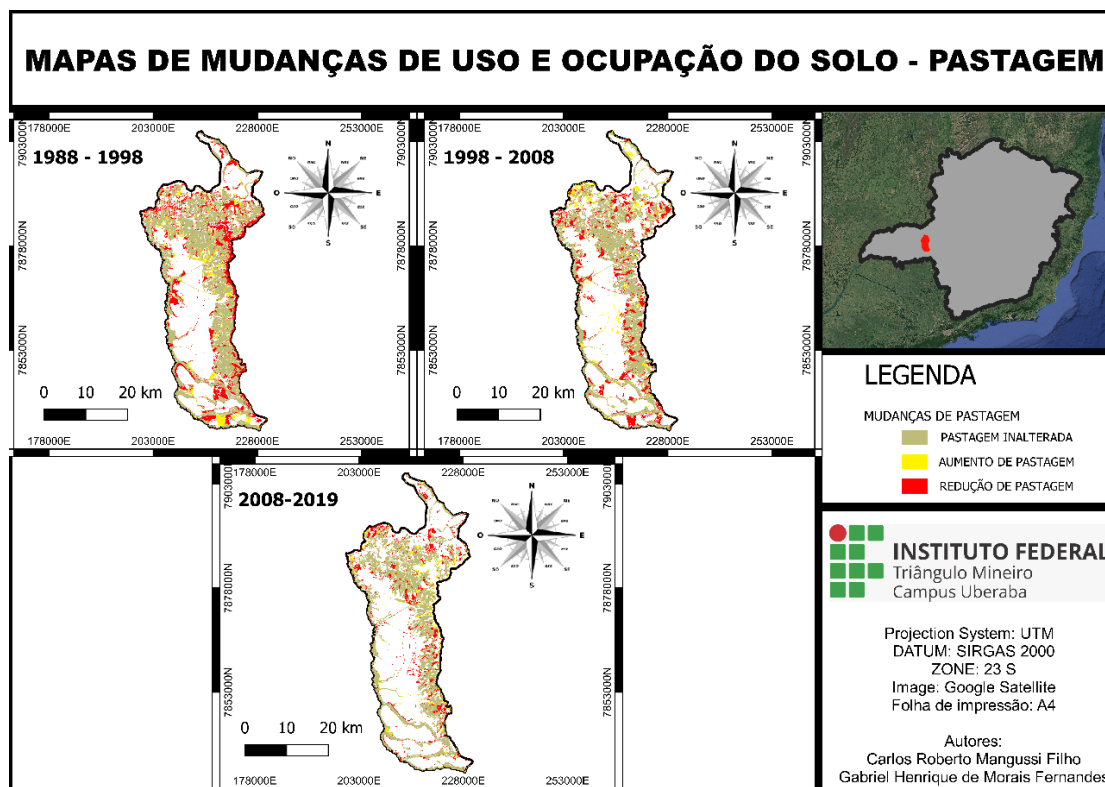
Para realização de tal obra, a comunidade estabelecida precisou ser desmembrada e realocada, com no mínimo 3 Km de distância do até então atual centro urbano, representando também o aumento de 190 hectares, estabelecidos pelas novas construções da população (Figura 5). O fato também consegue explicar parte da redução das áreas de pastagens naturais, respondendo com valores de 3.251,52 hectares (2,92% área total) de perca para cursos d'água (Figura 6).

Figura 5 – Mapa de Mudanças - Zona Urbana




Fonte: Acervo dos Autores.

Figura 6 – Mapa de Mudanças - Pastagem



Fonte: Acervo dos Autores.



A expansão da agricultura nacional teve um importante avanço, após a criação do Plano mineiro de Desenvolvimento Econômico e Social (PMDES) no início da década de 80. Isto fez com que o estado se consolidasse na vocação agrícola, perfazendo a região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (TMAP) ser beneficiada, por se ter constantes como infraestrutura, características naturais e localização. Este programa trouxe benefícios de estruturação econômica ao Estado, principalmente no campo da agricultura (GUIMARÃES, 2010).

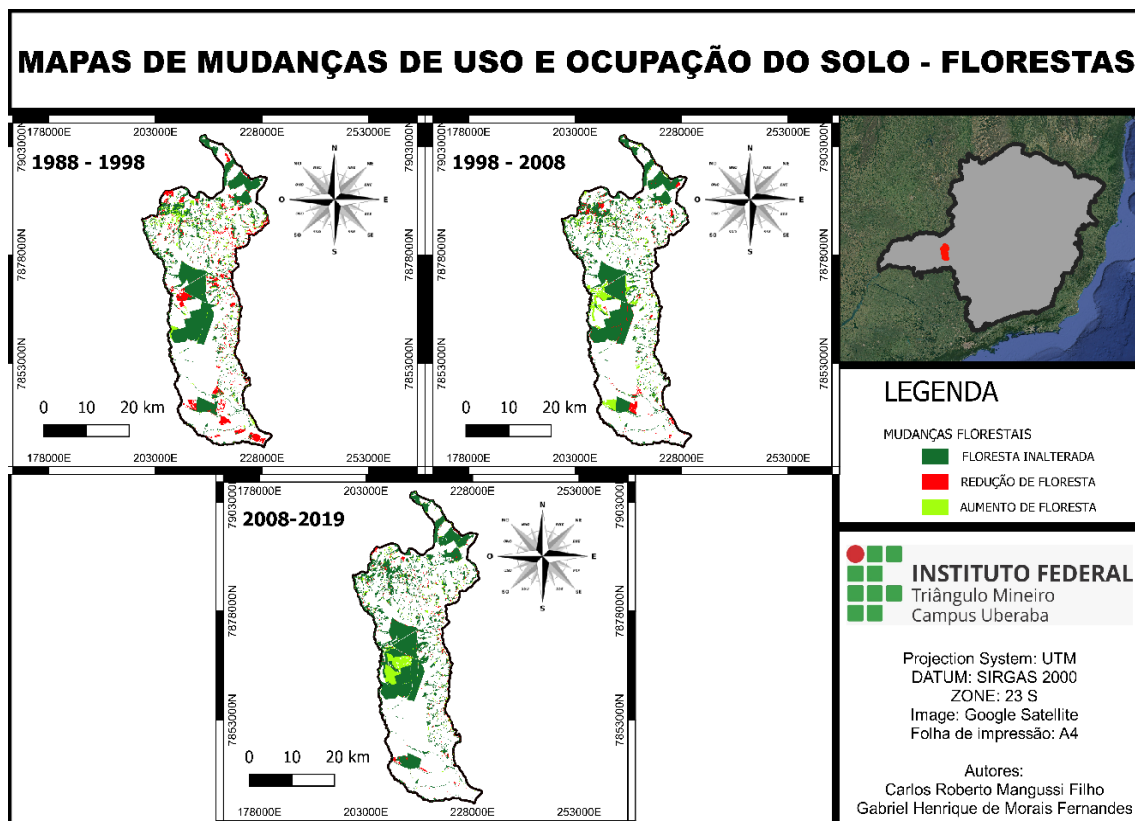
Assim, tem de ser levado em conta que uma obra de elevado porte como esta, pode provocar alterações no meio ambiente local, trazendo problemas futuros a todos os habitáveis da região. A temática de problemas sociais e ambientais gerados pela usina hidrelétrica foram objetos de estudos de vários autores desde a inauguração dela. Astolphi (2015) diz que grandes projetos como o vivenciado pela população nova-pontense trazem inúmeros impactos sociais, como o deslocamento compulsório, levando a uma complexidade territorial.

O contexto da construção da usina provocou outra alteração importante nas atividades produtivas da região, motivando uma crescente e próspera classe de agricultores, explicadas pela disponibilidade hídrica e a criação do PMDES. A população da época passa a ser aproveitar da aglomeração de pontos de água e estabelecem culturas agricultáveis as margens do Rio Araguari, provocando por hora até mesmo a degradação ambiental ao se reduzir porções de matas ciliares próximas ao rio. A figura 6 ainda colabora mostrando que, a classe de agricultura passa a ocupar áreas que antes eram cobertas por pastagens, na qual essa alteração no período foi de incríveis 7.747,11 hectares, o que corresponde a 14,53% de área total de pastagens naturais presentes em 1988 que eram de 53.322,57 hectares.

As áreas de florestas plantadas no Triângulo Mineiro passaram de 73 para 103 mil hectares, mostrando um crescimento de 30% no período de 1973 a 1985, esse ritmo apresenta desaceleração quando comparado a períodos anteriores. A espacialização das florestas plantadas no TMAP no ano de 1985, continuam em suas respectivas áreas, sem mudanças. São inseridos próximos de 40 mil ha entre os municípios de Nova Ponte e Araguari, sendo a maior parte implantados pela empresa Caxuana Reflorestamento Ltda, atual Duratex S.A. Todo o resultado do crescimento foi realizado através de os incentivos fiscais, e com o fim destes, decretado pelo governo federal em 1988, resulta-se na diminuição do ritmo dos plantios de florestas em todo o país (FRANCO, 2020) (Figura 7). Por tal

circunstância, é que se nota durante o período analisado, uma redução de 2.872,08 hectares nas áreas florestais do município.

Figura 7 – Mapa de Mudanças - Florestas



Fonte: Acervo dos Autores

3.3. MUDANÇAS DE 1998 - 2008

No início dos anos 2000, a cidade passou usufruir do momento de progresso que se instalava pelo país. O movimento de desestruturação, que se observara na década de 90, foi interrompido. Cresceu então o assalariamento formalizado, gerando aumento em serviços industriários, provocando elevada urbanização. Novas agriculturas são implantadas na cidade por até mesmo apelo econômico para suprir a crescente demanda da população (GOMES e CARDOZO, 2016).

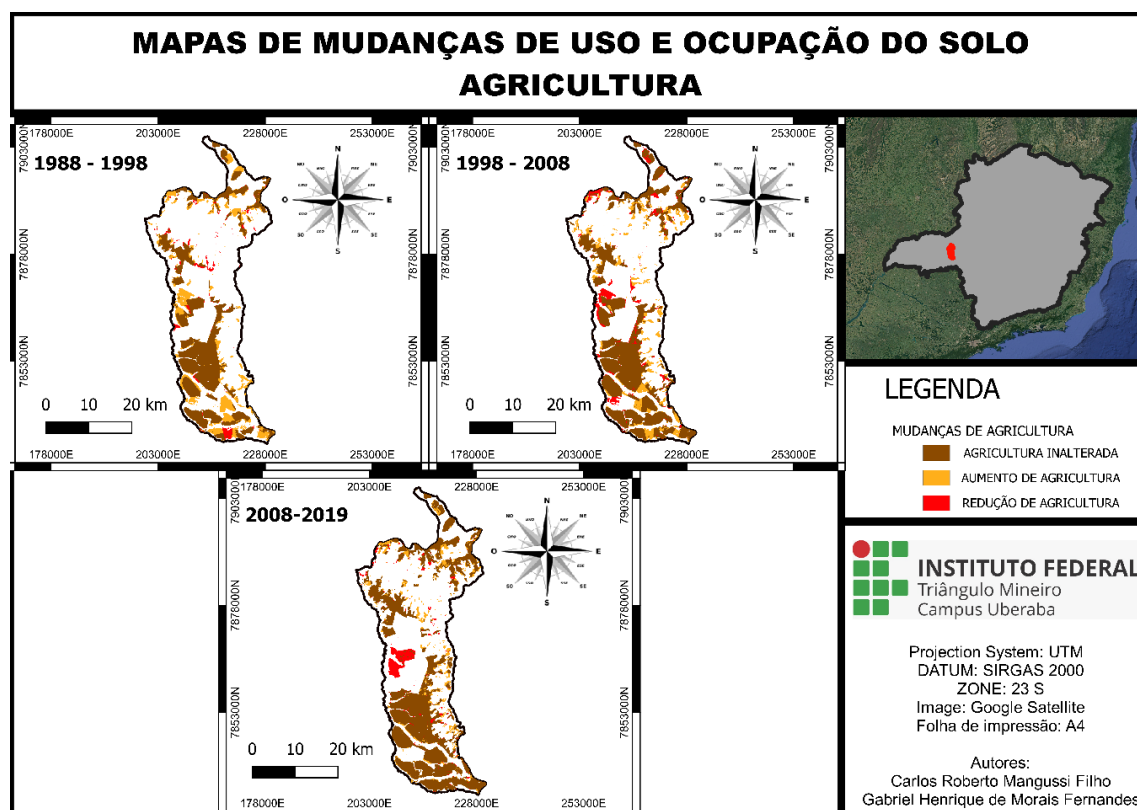
É possível perceber que durante o período, devido ao grande crescimento das áreas agricultáveis, esta passa a ser dominante na região (Figura 8). A redução da pastagem acontece por motivos óbvios, a expansão da zona urbana e também de culturas agrícolas, e esta perda é representada por 9.943,29 hectares de área (tabela 3), caracterizando 22,7% quando comparada ao seu valor para o ano de 1998, que era de 43.809,03 hectares. Ao passo de que a agricultura recebe boa parte desta anulação da pastagem, o equivalente a 6.897,06 hectares, sendo mais específico, 6,2% da área total da região.

Tabela 3 – Principais dados sobre mudanças de classe 1998 - 2008

CLASSE	ÁREA (Hectares)
Floresta inalterada	24.183,09
Aumento de floresta	4.489,56
Redução de floresta	2.685,06
Pastagem inalterada	33.865,74
Aumento de pastagem	3.904,74
Redução de pastagem	9.943,29
Agricultura inalterada	31.493,25
Aumento de agricultura	7.771,32
Redução de agricultura	3.905,46
Zona urbana inalterada	202,59
Aumento de zona urbana	48,51
Redução de zona urbana	0
Cursos d'água inalterado	4.728,33
Aumento de cursos d'água	304,02
Redução de cursos d'água	29,7

Fonte: Acervo dos Autores.

Figura 8 – Mapa de Mudanças - Agricultura



Fonte: Acervo dos Autores

No início dos anos 2000, alguns fatores impactam na expansão das florestas, entre eles, os preços de terras para reflorestamento, mantendo alta a partir de 2002 no país. Na região Sudeste, um hectare de terra para reflorestamento tinha preço aproximado de R\$ 5.500 em 2002; 12 anos depois, a mesma área custava R\$ 9.000 (BACHA, 2016). Todo esse contexto faz com que o território nesse período tenha um aumento de 4489,56 ha de formações florestais, sejam nativas ou reflorestadas, onde a maior contribuição vem de áreas anteriores de pastagens com a parcela 2.853,81 ha. Os dados permitem observar e prever que os novos plantios surgidos na região são, provavelmente oriundos dos pequenos e médios produtores atuantes na agricultura e pecuária (FRANCO, 2020).

3.4. MUDANÇAS 2008 - 2019

Segundo o PMSB (2014), a economia atual gira em torno da agricultura e agropecuária, sendo alguns produtos cultivados, no setor primário do município: cana-de açúcar, abacate, algodão, banana, borracha, cacau, arroz, aveia, batata, feijão, café, cevada, dentre outros. Já visível desde o início do período temporal, as áreas de agriculturas continuam sua expansão no território de Nova Ponte e com isso marca-se sua consolidação na cobertura do solo, com um aumento de 5.520,96 ha, sendo o equivalente a 5% de toda a área da região, e com boa parte de contribuição proveniente da alteração pastagem para agricultura, com valores de 5.251,32 ha (tabela 4).

Tabela 4 – Principais dados sobre mudanças de classe 2008 - 2019

CLASSE	ÁREA (Hectares)
Floresta inalterada	26.890,29
Aumento de floresta	3907,8
Redução de floresta	1.782,36
Pastagem inalterada	31.089,42
Aumento de pastagem	3.308,67
Redução de pastagem	6.681,06
Agricultura inalterada	35.761,41
Aumento de agricultura	5.520,96
Redução de agricultura	3.503,16
Zona urbana inalterada	252,18
Aumento de zona urbana	118,08


CLASSE	ÁREA (Hectares)
Redução de zona urbana	0,18
Cursos d'água inalterado	4.096,44
Aumento de cursos d'água	44,55
Redução de cursos d'água	935,91

Fonte: Acervo dos Autores.

A região tem laços agropecuários fortes, por estar inserida no Mesorregião do TMAP, por este conseguinte a área de pastagem mesmo com suas percas ao decorrer do período continua bastante presente no território, mantendo inalterado 31.089,42 (28% área total do território) hectares durante a década de análise. Outro forte setor na região atualmente é a indústria, sendo responsável até mesmo por maior parte do PIB Municipal, o que gera expansão urbana, que dentro do período teve aumento de 118 hectares.

Conforme estudos anteriores, a região de Nova Ponte não conta com restrições quanto a áreas regradadas por leis, o seu bioma predominante é o Cerrado, longe de qualquer impedimento quanto a associação com a lei do bioma Mata Atlântica. Não se encontra também na área de estudo Área de Preservação Permanente (APP), protegida por lei de 2008. Mas mesmo com baixas limitações, as áreas florestais da região têm conseguido se restabelecer e vem aumento gradativamente, pois grandes empresas, como a Duratex, são responsáveis pelos plantios, até mesmo para abastecimento industrial. A Duratex S.A. detém aproximadamente 76 mil hectares, a maioria sendo eucaliptos, entre diversos municípios, entre eles, Nova Ponte (DEXCO, 2018). Todas as cidades fazendo se valer da boa disponibilidade hídricas, contando das proximidades dos rios Araguari e Tijuco. A ampliação das áreas florestais dentro do período consta de 3.907,8 hectares, sendo referente a 3,52% da área total da região.

Os cursos d'água permanecem quase que inalterados desde o estabelecimento da usina hidrelétrica, e dentro da década apresentou aumento de 44,55 hectares. Um ponto a se saber sobre o empreendimento relacionado a instalação da usina hidrelétrica é verificar a qualidade da água, se tem impactos ou não. Tal estudo similar foi realizado por Barroso, Pinheiro e Pereira (2018), onde em conjunto com a Companhia Energética de Minas Gerais (responsável pela hidrelétrica) analisaram dados físico-químicos da água e, como resultados, os



valores de tais parâmetros analisados não se encontraram foram da resolução CONAMA Nº357/2005.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os mapas provenientes a partir de imagens do Mapbiomas e *Google Earth Engine* se perfizeram eficientes quando do diagnóstico das mudanças de ocupação do solo ao longo do tempo. Quando da realização deste processo compreendendo um intervalo de tempo, se torna possível o desenvolvimento de um estudo progressista da área, manifestando as variadas características presentes mediante as datas avaliadas. Por sofrer diversas alterações durante o tempo possuem influxo direto em diversos aspectos ambientais, sendo manifesto consequentemente no planejamento ambiental. Com a dificuldade de mensurar-se quaisquer mudanças que se pleitearam no decorrer do tempo é que se faz necessário implementar ferramentas como auxiliares ao diagnóstico.

No período de 1988-1998, tem-se a instalação da usina e com isso alterações relevantes no território, o aumento da área agrícola se tornou presente, possivelmente mantendo relações com tal fato de empreendedorismo e aos incentivos do PMDES.

A agricultura teve aumento contínuo no período 1998-2008, passando a predominar como a cobertura de maior participação sobre a região.


Na década de 2008-2019, tem-se um aumento de 3,52% em áreas florestais, provenientes de reflorestamentos impostos por empresas, como a Duratex S.A., mostrando assim que o município recebe incentivos quanto a questão ambiental.

A aplicação das ferramentas dos sistemas de informações geográficas se mostrou eficiente no diagnóstico da ocupação espaço temporal do solo entre 1988 e 2019. Tais ferramentas se baseiam na justificativa da relevância de se ter um estudo com enfoque nas mudanças de uso e ocupação do solo por meio da representação por mapas, ou seja, na ótica por trás da espacialização ocupacional da terra, mostrando que a diminuição da deterioração ambiental quando do benefício da manutenção qualitativa social, é de interesse de gestores municipais e/ou federais.



REFERÊNCIAS

- ARANHA, J. T. M. **Sistema de Informações Geográficas – Conceitos e Aplicações**. Vila Real, [s.n.] 2010.
- ASTOLPHI, J. D. V. C. **Efeitos sociais de grandes empreendimentos hidrelétricos no Rio Araguari: a relação entre o uso do território e a saúde coletiva no município de Nova Ponte (MG)**. 2015. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.
- BACHA, C. C. J.; STEGE, A. L.; HARBS, R. Ciclos de preços de terras agrícolas no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 4, p. 18-37, 2016.
- BARROSO, G. R.; PINHEIRO, W. F.; PEREIRA, A. A. Avaliação da Qualidade da água do reservatório da usina hidrelétrica de Nova Ponte (MG) e sua relação com o volume de água do reservatório. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 12, n. 2. 2018.
- BRITO, J. L. S. **ELABORAÇÃO DO MAPA DE SOLOS DA BACIA DO RIO ARAGUARI NA ESCALA DE 1:500.000**. II Simpósio Regional de Geografia. UFU – Instituto de Geografia. 2003.
- BUYUKDEMIR, A. H. **Groundwater vulnerability assessment with DRASTIC method: a case-study on Kirikkale plain, Turkey**. Masters of Science Thesis, Middle East Technical University, 2012.
- CBH ARAGUARI, Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Araguari. **Caracterização da bacia hidrográfica do rio Araguari**. Disponível em: <<http://www.cbharaguari.org.br/?olm=caracterizacao>> Acesso em: 28 de agosto de 2021.
- CEARÁ. Séc. de Planejamento e Coordenação. **Projeto Áridas. Grupo de Trabalho I, vol. II., Recursos Naturais e Meio Ambiente**. Fortaleza: SEPLAN, 1994.
- FRANCO, C. **A EXPANSÃO DAS FLORESTAS PLANTADAS NO TRIÂNGULO MINEIRO E ALTO PARANAÍBA**. 2020. 107 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.
- DEXCO. **Duratex e Lenzing anunciam joint venture para construção da maior linha industrial de celulose solúvel do mundo**. Duratex – Notícias, 21 jun. 2018. Disponível em: <<https://www.dex.co/pt/noticias/duratex-e-lenzing-anunciam-joint-venture-para-construcao-da-maior-linha-industrial-de-celulose-soluv-el-do-mundo>>. Acesso em: set. 2021.
- GOMES, D. C.; CARDOZO, S. A. **Estrutura Produtiva e Mercado de Trabalho no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba: Balanço de uma década**. 2016.
- GUIMARÃES, E. N. **Formação e desenvolvimento econômico do Triângulo Mineiro: integração nacional e consolidação regional**. Uberlândia: EDUFU, 2010. 254 p. ISBN: 978-85-7078-249-6

- 
- IBGE. **Cidades e Estados**. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/nova-ponte.html>>. Acesso em: 25 de agosto de 2021.
- INÁCIO, J. L. **Culturas, memórias e outras histórias: processos e disputas na e pela cidade de Nova Ponte/MG (1960-2013)**. 2014. 207 f. Tese (Doutorado em História). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.
- MAPBIOMAS. **Perguntas Frequentes**. 2020. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/perguntas-frequentes>>. Acesso em: 25 de agosto de 2021.
- PMSB. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Nova Ponte**. 2014. 25 p. Disponível em: <https://www.agenciaabha.com.br/_download.php?file=aHR0cDovL2FiaGFhcmFndWFyaS5vcmcuYnIvdXBsb2Fkcy8yX2JpYmxpb3RIY2EvMl9hY2VydM9fdGVjbmljby9wbGFub3NfbXVuaWNpcGFpc19kZV9zYW5lYW1lbnRvX2Jhc2ljby9ub3ZhX3Bvb3RlL3BsYW5vX2RlX3RyYWJhbGhvLnBkZg==>. Acesso em: 7 de dezembro de 2021.
- ROCHA, J. V. **O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NO CONTEXTO DO PLANEJAMENTO INTEGRADO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**. 2020.
- SANTOS, K. A. D.; FORMIGA, K. T. M.; BRAGA, V. S.; FARIA, K. M. S. D. Mudanças morfológicas na bacia hidrográfica do Córrego Barreiro ao longo do processo de urbanização, Goiânia-GO. urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 13. 2021. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.e20200047>
- SILVA, R. A. D. S. **As mudanças no uso e cobertura da terra e sua Influência na geração de ilhas de calor urbana da superfície e conforto térmico em João Pessoa, Paraíba**. 2020. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2020.



CAPÍTULO II

ANÁLISE DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA INDICAÇÃO DE ÁREAS PROPÍCIAS À IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE PARACATU-MG

DOI: 10.51859/ampla.aca955.1122-2

Gabrielly L. Oliveira Silva

Pós-Graduação em Geoprocessamento, Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, Brasil
eng.gabioliveira@gmail.com

Samara Pimentel Pereira

Pós-Graduação em Geoprocessamento, Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, Brasil
samara.pimentell@gmail.com

Vera Lúcia Adbala

Professora Dra. do Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, Brasil
vlabdala@iftm.edu.br

Joyce Silvestre de Sousa

Professora Dra. do Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, Brasil
joyce@iftm.edu.br

Magda Stella de Melo Martins

Professora Dra. do Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, Brasil
magda@iftm.edu.br





RESUMO

O desenvolvimento acentuado dos centros urbanos com consequente crescimento da população provoca um aumento na geração de resíduos sólidos. No entanto muitos municípios não possuem sistemas de coleta, tratamento e disposição final em áreas adequadas, o que tem trazido diversos inconvenientes à saúde da população, além de causar poluição ao meio ambiente. Assim sendo, o objetivo deste trabalho é verificar, através de geotecnologias, os locais ambientalmente adequados à implementação de um aterro sanitário no município de Paracatu-MG. Para tanto, foram definidos e ponderados critérios de análises, bem com o *software* QGIS e o *plug in* Easy AHP para se alcançar o proposto. Conclui-se que a análise multicritério se mostra como eficiente para indicação das áreas aptas à implantação do aterro, indicando que 43,49% das áreas do município não podem ser utilizadas por se enquadrarem como áreas restritas. Já para as áreas não restritas, idealizadas nesta pesquisa em cinco classes distintas de riscos, verificou-se a inexistência de áreas de muito baixo e baixo risco. Portanto, o risco médio se mostrou como o de melhor aptidão para implementação do aterro, correspondendo a um total de 9% da área do município estando estas localizadas preponderantemente na direção leste de Paracatu.

Palavras-chave: Resíduos sólidos; Aterro; Multicritério; QGIS; Easy AHP.

LAND USE AND LAND COVER ANALYSIS TO INDICATE AREAS SUITABLE FOR THE IMPLEMENTATION OF A SANITARY LANDFILL IN THE MUNICIPALITY OF PARACATU-MG

ABSTRACT

The accentuated development of urban centers with consequent population growth causes an increase in the generation of solid residues. However, many municipalities do not have systems of collection, treatment and final disposal of these in appropriate areas, which has brought several inconveniences to the health of the population, besides causing environmental pollution. Therefore, the objective of this work is to verify, through geotechnologies, the environmentally suitable locations for the implementation of a sanitary landfill in the city of Paracatu-MG. To this end, analysis criteria were defined and weighted, as well as the QGIS software and the plug in Easy AHP to achieve the proposed. It is concluded that the multicriteria analysis is efficient to indicate the areas suitable for landfill implementation, indicating that 54.78% of the municipal area cannot be used because it fits as restricted area. As for the non-restricted areas idealized in this research in five different risk classes, it was verified that there are no areas of very low and low risk. Therefore, the medium risk proved to be the best suited for implementation of the landfill, corresponding to a total of 9% of the area of the municipality being located predominantly in the east direction of Paracatu.

Keywords: Solid waste; Landfill; Multicriterion; QGIS; Easy AHP



1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos tem-se observado o desenvolvimento acentuado dos centros urbanos brasileiros com consequente crescimento da população e mudanças nos padrões de consumo. Por conseguinte, a geração de lixo, também denominada resíduos sólidos, cresce de forma acelerada. De acordo com a Norma Brasileira (NBR) 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação (2004), resíduo sólido é todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, no estado sólido e semissólido, podendo este ser reaproveitado por terceiros em sua forma original ou transformado.


Ainda em conformidade com a referida norma, os resíduos sólidos podem ser classificados como perigosos e não perigosos e suas disposições finais devem ser feitas de forma adequada a fim de evitar a contaminação do meio ambiente e a disseminação de doenças.

No entanto, em Minas Gerais, a Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, (2015) alerta que muitos municípios não possuem sistemas de coleta, tratamento e disposição final dos resíduos de forma adequada, sendo os lixões (depósitos a céu aberto) ainda uma realidade brasileira que tem trazido diversos inconvenientes à saúde e bem-estar da população, além de causar poluição do solo, água e ar.

Rodrigues (2018) enfatiza que a utilização de depósitos de lixo a céu aberto é um problema que vem sendo enfrentado por Minas Gerais e que neste tipo de disposição o lixo é simplesmente depositado sobre o solo sem qualquer medida de controle ambiental ou sanitário.

Nesse sentido, Alves, Silva e Almeida (2020) explica que a técnica de aterramento sanitário é a mais difundida e adequada para a disposição final de resíduos sólidos, visto que estes seguem uma série de protocolos, medidas normativas e exigências legais vigentes que protegem o solo, os lençóis freáticos e os cursos d'água, a atmosfera e as populações que vive no entorno da área. Como consequência, a escolha de áreas propícias à implantação dos aterros sanitários requer que sejam feitas análises com uma combinação de fatores ambientais, sociais, econômicos e técnicos.

Nesta perspectiva, as geotecnologias, com destaque às análises denominadas multicritérios, tornam-se relevantes no estudo de áreas para a implantação de aterros sanitários. A partir destas, torna-se possível a caracterização da importância



dos diferentes parâmetros necessários de serem analisados para uma escolha bem sucedida de área.

Embora o aterramento sanitário seja adequado para disposição de resíduos sólidos, o último estudo realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) indica que apenas 58,7% dos resíduos coletados no Brasil são enviados para locais ambientalmente corretos (ABRELPE, 2015).

Portanto, ao analisar a realidade do município mineiro Paracatu, constata-se que em média a cidade gera aproximadamente 60 toneladas/dia entre resíduos domésticos e comerciais, públicos, de serviços de saúde e carcaças dos animais mortos (PARACATU, 2018). Posto isto, questiona-se: quais os locais em Paracatu-MG são considerados ambientalmente adequados, apresentando melhor aptidão para a implantação de um aterro sanitário e, conseqüentemente, correta disposição final dos resíduos sólidos? As geotecnologias são capazes de propiciar adequada análise permitindo a definição de áreas potenciais para instalação do aterro?

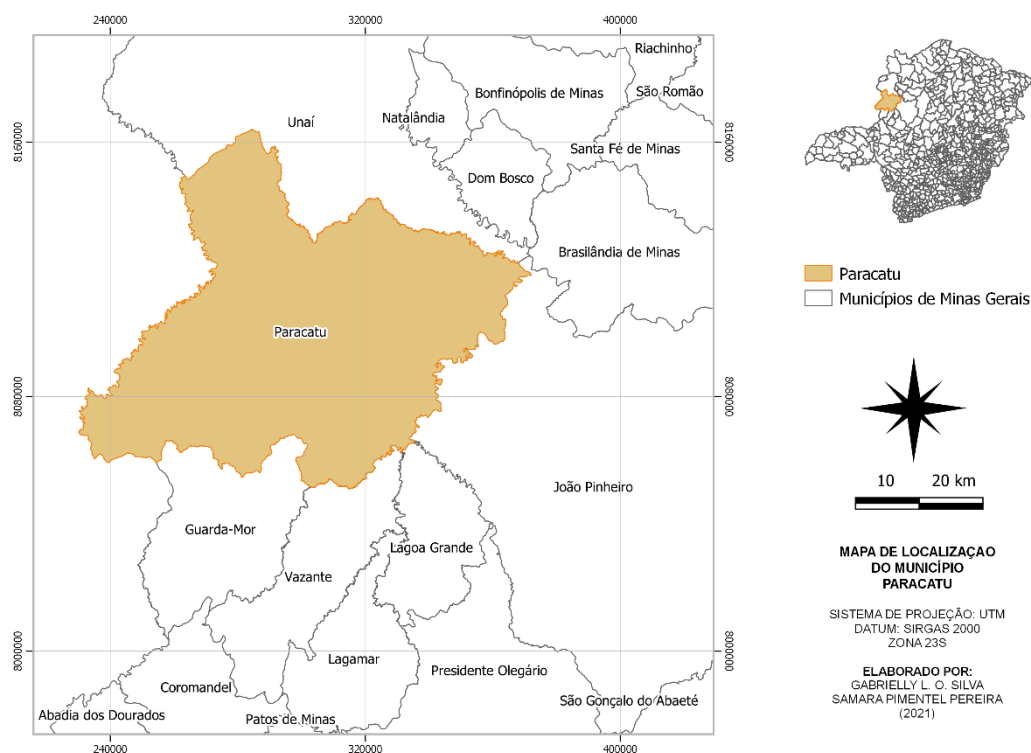
Assim sendo, o objetivo deste trabalho é verificar, através de geotecnologias, os locais ambientalmente adequados à implementação de um aterro sanitário no município de Paracatu-MG. Entende-se que esta pesquisa poderá contribuir para a criação de estratégias e tomadas de decisões por parte dos agentes envolvidos no planejamento urbano do município de Paracatu, potencializando escolhas que permitam um desenvolvimento local sustentável, um crescimento econômico eficiente e políticas públicas de qualidade.

2. METODOLOGIA

2.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A área em estudo se limita ao polígono urbano do município de Paracatu, situada na Mesorregião do Noroeste Mineiro, estado de Minas Gerais, conforme apresenta a Figura 1, e delimitada pelas coordenadas geográficas 17°08'43" Sul e 46°50'37" Oeste, Latitude -17,2225 e Longitude -46,8752 (IBGE, 2021).

Figura 1 – Localização do município de Paracatu-MG



Fonte: Autoria própria (2021).

O município de Paracatu, de acordo com Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN (2021) surgiu como um povoado entre os anos 1690 e 1710, descoberto a ouro, atração esta exercida pela abundância com que este fluía nos depósitos de aluvião encontrados facilmente nos diversos córregos do município e que contribuiu para o acelerado crescimento do Arraial de São Luiz e Sant’Anna das Minas do Paracatu.

Mais de 200 anos depois de seu surgimento, localizada às margens da Rodovia BR-040 e MG-188, a vocação mineradora de Paracatu continua sendo a marca da cidade, que conta com reservas de ouro (maior mina de ouro do Brasil em volume e em área de extração), zinco, calcário e chumbo (PARACATU, 2021).

De acordo com Santos (2013), a vocação mineral do município de Paracatu se justifica pela sequência de rochas de uma estreita faixa de aproximadamente 15 km de largura que se estende na direção Norte-Sul. Ainda em conformidade com o referido autor, nesta faixa ocorrem dois grupos de rochas metassedimentares de baixo grau a saber: Grupo Vazante, mais antigo, representado por rochas carbonáticas e pelíticas, e o Grupo Canastra representado pelos filitos carbonosos com lentes de quartzitos, da Formação Paracatu.

Ademais, a agropecuária é também uma importante atividade para a economia. Paracatu possui mais de 40 mil hectares de área irrigada, com produção mecanizada de soja, milho e feijão, além da fruticultura, café e algodão. O município é destaque em Minas Gerais e no Brasil por sua economia, pela moderna produção de ouro e grãos e também pela pecuária (PARACATU, 2021).

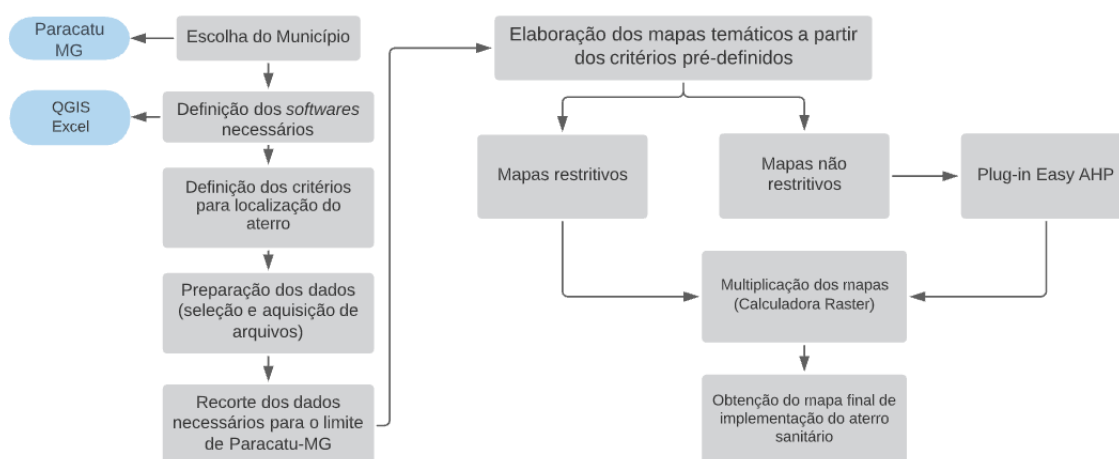
A cidade vem se desenvolvendo como um grande polo turístico e cultural, tendo sido tombada em 2010 pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) como patrimônio cultural brasileiro. O principal rio de Paracatu originou o nome do município (Rio Paracatu), pertencendo à Bacia do São Francisco. A região é rica em veredas de buritis, que são os nascentes naturais dos cursos d'água que formam ribeirões e rios.

Predomina, em Paracatu, a vegetação típica do cerrado, com matas de galeria à beira de rios. A área total do município é de 8.231,029 km², a população total estimada em 2021 igual a 94.539 habitantes e o PIB per capita em 2018 igual a R\$ 46.629,49 (IBGE, 2021).

2.2. ETAPAS DA PESQUISA

Para uma melhor compreensão de todos os procedimentos metodológicos envolvidos no presente trabalho, a Figura 2, apresenta o caminho realizado para atingir o objetivo proposto.

Figura 2 - Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2021).

A partir da definição do município a ser estudado, para que fosse possível realizar a proposta do mapeamento das áreas ambientalmente adequadas à

implementação do aterro, definiu-se o *software* QGIS em sua versão 3.10.14 como principal ferramenta deste estudo por se tratar de um *software* livre e de fácil acesso.

Dentre as legislações vigentes acerca do tema, destacam-se a NBR 8419 (1992) que esclarece as condições mínimas para a apresentação de aterros sanitários, a documentação necessária e as condições gerais e específicas para a sua construção; a Lei nº18.031 de 2009, na qual se estabelece o princípio da logística reversa; a Lei nº12.305 de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos trazendo princípios e direcionamentos relacionados à gestão dos resíduos; a Deliberação Normativa (DN) do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) nº 52 de 2001 e a DN COPAM nº 118 de 2008 que exemplificam diretrizes para adequação de resíduos sólidos urbanos.

Portanto, a partir de revisões bibliográficas e estudos normativos, pôde-se definir os critérios a serem considerados para a análise da localização do aterro, podendo estes serem classificados em dois distintos grupos a saber: restritivos e não restritivos. A Tabela 1 apresenta de forma detalhada o exposto.

Quadro 1 – Critérios considerados para definição das áreas adequadas à implementação do aterro

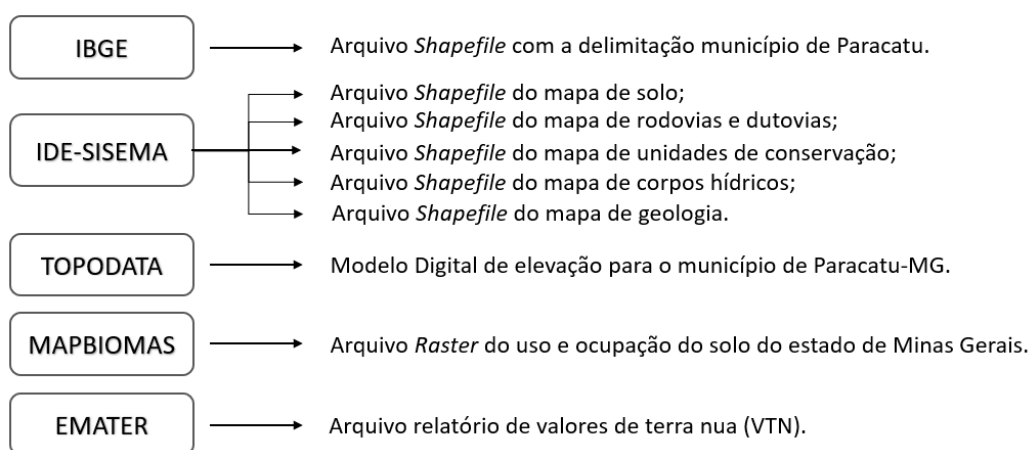
Critérios Restritivos	Critérios não restritivos
Terreno com declividade máxima de 30%; (DN COPAM nº 118/2008)	Distância dos corpos hídricos a partir do limite mínimo de 300 metros; (DN COPAM nº 118/2008)
Área situado a uma distância mínima de 500 metros de núcleos populacionais; (DN COPAM nº 118/2008)	Distância da fonte geradora de resíduos sólidos urbanos respeitando o limite mínimo de 500 metros; (OLIVEIRA NETO, 2011)
Área não situada em Unidades de Conservação e em manchas de Mata Atlântica; (DN COPAM nº 118/2008)	Distância das vias de acesso a partir do limite mínimo estabelecido de 200 metros; (DN COPAM nº 118/2008)
Área situada a uma distância mínima de 100 metros de ferrovias e dutovias. (DN COPAM nº 118/2008)	Permeabilidade dos solos; (FREIRE,2009)
Áreas situadas a uma distância de até 200m de cursos d'água; (DN COPAM nº 118/2008)	Geologia; (FREIRE,2009)
Áreas de Mata Nativa (MAPBIOMAS, 2021).	Valor monetário da terra (EMATER, 2021).

Fonte: Autoria própria (2021).

Na etapa seguinte, objetivando a preparação dos dados e coleta de informações, recorreu-se ao acervo do Instituto Brasileiro de Geografia (IBGE), Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA), MapBiomas, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do estado de Minas Gerais (EMATER-MG) e ao Banco de Dados do Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA), para obtenção dos arquivos vetoriais (*shapefile*) e de imagens (*rasters*) necessários para caracterização da área em estudo a partir dos critérios previamente definidos, conforme apresenta a Figura 3.

Destaca-se que o MapBiomas é uma plataforma Web de consulta pública tida como uma rede colaborativa com especialistas em biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação, que disponibiliza imagens do satélite Landsat com resolução de 30x30 pixels (MAPBIOMAS, 2021). Ainda na preparação de dados, segundo Câmara *et al* (1996), as imagens são relacionadas com coordenadas de figuras (linhas e colunas) originando coordenadas de um Sistema de Referência. Nesse sentido para refinar as imagens de satélites, os arquivos *rasters* de uso e cobertura do solo do estado de Minas Gerais foram georreferenciadas no Sistema de Projeção Universal Transversal de Mercador (UTM), Zona 23 Sul, com Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000) – *South American* e Grupo de pesquisa Petrolífera Europeia (EPSG) 31983.

Figura 3 – Acervos utilizados com os respectivos dados necessários às análises do mapeamento



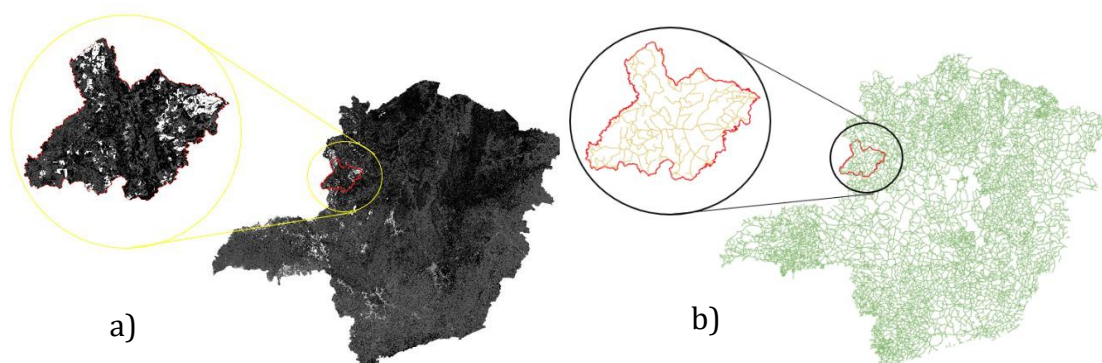
Fonte: Autoria própria (2021).

Após os ajustes do sistema de projeção dos arquivos de imagem, prosseguiu-se com o recorte do conjunto de dados para o limite estabelecido da região em estudo através da ferramenta “recortar *raster* pela camada de máscara”, procedendo

ainda com os recortes necessários aos arquivos vetoriais a partir do comando “recortar”, conforme exemplo da Figura 4.

Figura 4 – Exemplo de recorte dos dados para o município de Paracatu-MG

a) de cobertura do solo b) de rodovias



Fonte: Autoria própria (2021).

Tendo em vista que o arquivo *raster* se mostrou necessário para que fossem obtidos os dados de uso e ocupação do solo de modo a atender critérios restritivos e não restritivos previamente estabelecidos nesta pesquisa, foi realizada a classificação a partir dos parâmetros do MapBiomas utilizando o código de legenda coleção 5, com posterior reclassificação das classes visando enfatizar apenas a Infraestrutura Urbana do município.

Com as manipulações necessárias e de posse dos arquivos recortados contemplando apenas a delimitação do município de Paracatu, partiu-se para a elaboração dos mapas temáticos restritivos fazendo uso do comando “*buffer*”. Destaca-se que os referidos mapas contemplam análises individuais dos diferentes critérios apresentados na Tabela 1 e, uma vez inexistentes ferrovias no perímetro do município em estudo, bem como a ausência de unidades de conservação, foram gerados cinco mapas distintos. Na sequência, tornou-se necessário a elaboração dos mapas individuais não restritivos. Para tanto, optou-se por trabalhar com diferentes classes e pesos (estes variando de 0 a 255, conforme escala RGB disponível no *software* QGIS) de modo a permitir adequada correlação entre os parâmetros. A Tabela 2 apresenta de forma detalhada a relação entre critérios, classes e pesos considerados nesta pesquisa. Ressalta-se que pesos menores remetem a melhores condições de área.

Tabela 1 – Relação entre critérios, classes e pesos para obtenção dos mapas não restritivos

CRITÉRIOS	CLASSES	PESOS	CRITÉRIOS	CLASSES	PESOS
Distâncias dos corpos hídricos	Até 300m	255	Tipos de solos	RLd1, RLd2, RLd3, RLe1, RLe5	255
	300m a 600m	130		CXbd13, CXbd9	255
	600m a 900m	75		GMd1, GXbd1	255
	900m a 1.200m	50		RQo1, RUbe1	255
	1.200m a 15.000m	25		LVd2, LVd3, LVd5, LVAd1, LVAd3, LVAd5, LVAd7, LVAd13	130
Distâncias de rodovias	Até 200m	255	Formação geológica	Sedimentar	255
	200m a 2.000m	175		Metamórfica	170
	2.000m a 4.000m	130		Ígnea, metamórfica, sedimentar	130
	4.000m a 6.000m	95		Ígnea, sedimentar	130
	6.000m a 8.000m	55		Ígnea, metamórfica	130
Distâncias da fonte geradora de RSU	Mais de 8.000m	25	Valor da terra nua	Floresta	255
	Até 500m	255		Infraestrutura Urbana	255
	500m a 3.000m	150		Mineração	255
	3.000m a 5.000m	100		Corpos d'água	255
	5.000m a 15.000m	50		Agricultura	200
	15.000m a 20.000m	30		Pastagem	170
	Mais de 20.000m	15		Solo nu	170

Legenda: LVd - Latossolo Vermelho Distrófico; RVo - Neossolo Quartzarênico Órtico; GMd - Gleissolo Ebânico Distrófico; CXbd - Cambissolo Háptico Distrófico Típico; LVA - Latossolo Vermelho Aluminoso; RUbe - Neossolo Flúvico Eutrófico Típico; GXbd - Gleissolo Háptico Distrófico Típico; RLd - Neossolo Litótico Distrófico; RLe - Neossolo Litótico Eutrófico

Fonte: Autoria própria (2021).

Definidas as relações entre critérios, classes e pesos, pôde-se gerar os mapas individuais não restritivos fazendo uso das ferramentas “buffer”, “multiple distance buffer” e “recortar”.

Por conseguinte, visando a obtenção das áreas ambientalmente adequadas à implantação do aterro e considerando as diferentes variáveis, neste trabalho definidas a partir dos mapas restritivos e não restritivos; dentre os métodos existentes no ambiente das decisões multicritério optou-se pela utilização do Método de Análise Hierárquica (AHP), também denominado *Analytic Hierarchy Process*.

Assim o método AHP se propõe a calcular a Razão de Consistência dos julgamentos, denotada por:

$$RC = IC^{-IR} \quad (\text{Equação 1})$$

RC = IC/IR, onde IR é o Índice de Consistência Randômico obtido para uma matriz recíproca de ordem n , com elementos não-negativos e gerada randomicamente. O Índice de Consistência (IC) é dado por:

$$IC = (\lambda_{\max} - n)^{-(n-1)} \quad (\text{Equação 2})$$

em que $\lambda_{\text{máx}}$ é o maior autovalor da matriz de julgamentos. Em seguida, as comparações são convertidas em números para calcular os respectivos pesos durante a tomada de decisão. Segundo Saaty (2000) a condição de consistência dos julgamentos é $RC \leq 0,10$ (SAATY, 1991).

Por conseguinte, utilizou-se do *plug in* Easy AHP incorporado ao *software* QGIS para a obtenção dos pesos referentes a cada uma das variáveis representadas pelos seis mapas não restritivos. Para tanto, utilizou-se da escala numérica estabelecida por Saaty (1991) para a elaboração da matriz de ordem seis, conforme apresenta a Tabela 3.

Tabela 2 – Matriz AHP 6×6


Mapa Não Restritivo	Mapa não restritivo de CH	Mapa não restritivo de RSU	Mapa não restritivo de rodovias	Mapa não restritivo de solos	Mapa não restritivo de geologia	Mapa não restritivo de VTN
Mapa não restritivo de corpos hídricos	1					
Mapa não restritivo de geração de RSU		1				
Mapa não restritivo de rodovias			1			
Mapa não restritivo de solos				1		
Mapa não restritivo de geologia					1	
Mapa não restritivo de valor da terra nua						1

Fonte: Autoria própria (2021).

De posse dos pesos das variáveis não restritivas, utilizou-se da Calculadora Raster no *software* QGIS para a multiplicação dos mapas não restritivos e seus respectivos pesos, com posterior multiplicação do resultado obtido da soma desta primeira operação com os mapas restritivos, conforme apresenta a Equação 3.

$$((\text{Mapa não restritivo Corpos hídricos} \times \text{Peso}_{CH}) + (\text{Mapa não restritivo de geração de RSU} \times \text{Peso}_{RSU}) + (\text{Mapa não restritivo de Rodovias} \times \text{Peso}_{Rod}) + (\text{Mapa não restritivo de solos} \times \text{Peso}_{solos}) + (\text{Mapa não restritivo de geologia} \times \text{Peso}_{geologia}) + (\text{Mapa não restritivo de valor da terra nua} \times \text{Peso}_{VTN})) \times \text{Mapa restritivo de núcleos populacionais} \times \text{Mapa restritivo de mata nativa} \times \text{Mapa restritivo de dutovias} \times \text{Mapa restritivo de declividade} \times \text{Mapa restritivo de cursos d'água.} \quad (\text{Equação 3})$$

Ao final das operações na Calculadora Raster, pôde-se obter o mapa final com novas informações de áreas resultantes da combinação dos diferentes dados



geográficos com a finalidade de indicar as áreas propícias à implantação do aterro sanitário no município em estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. MAPAS RESTRITIVOS

Os primeiros resultados obtidos a partir das manipulações no *software* QGIS e em concordância com as premissas legais e normativas objetos de estudo desta pesquisa se referem às indicações das áreas consideradas restritas para a implantação do aterro sanitário no município de Paracatu-MG. A Tabela 4 apresenta de forma detalhada a relação entre os critérios adotados e suas respectivas áreas.

Tabela 3 – Classes de aptidão das áreas de acordo com suas pontuações finais

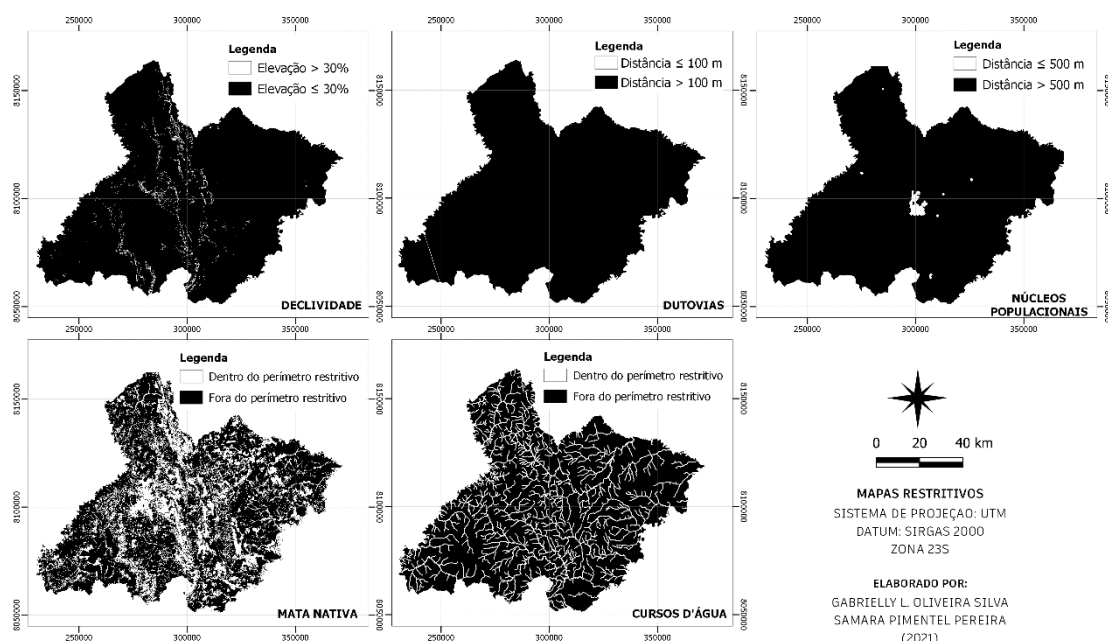
Classes	Área Total (ha)	Área Total (%)
Restrito: Declividade	23.730,56	2,89
Restrito: Dutovias	282,49	0,03
Restrito: Núcleos populacionais	8.443,96	1,03
Restrito: Mata nativa	269.903,86	32,83
Restrito: Cursos d'água	147.983,92	18,00
Restrito: Ferrovias	0,00	0,00
Restrito: Preservação	0,00	0,00
Delimitação do município	822.115,42	100,00

Fonte: Autoria própria (2021).

Constata-se, porém, que muitas destas áreas consideradas restritas se sobrepõem quando analisados os diferentes critérios simultaneamente. Logo, a área considerada inapta para a implantação do aterro sanitário visto as considerações do relevo, a presença de dutovias, de núcleos populacionais, mata nativa e de cursos d'água representa 357.540,37 hectares, ou seja, 43,49% da área total de Paracatu. A Figura 4 identifica estas áreas inseridas no perímetro em estudo.

Pode-se constatar a predominância de relevo relativamente íngreme com elevação superior a 30% na porção central do município na direção Norte-Sul, resultando em 23.730,56 ha de áreas restritas. Amaral e Lana (2017) esclarecem que a utilização de altas declividades não favorece a movimentação gradacional dos resíduos e materiais para forração, bem como não facilitam o sistema de drenagem de líquidos e gases, resultando a ocorrência da percolação de resíduos tóxicos.

Figura 4 – Análise individual dos critérios restritivos para posterior obtenção de áreas propícias à implementação de aterro sanitário no município de Paracatu-MG



Fonte: Autoria própria (2021).

Verifica-se ainda a sudoeste do perímetro municipal um pequeno trecho de dutovia equivalente a restrição de área igual a 282,49 ha. Ao analisar os núcleos populacionais constata-se significativa restrição de área da porção central do município, o que equivale a 8.443,96 ha. Juntos, os três parâmetros evidenciados somam apenas 29.424,96 hectares o que corresponde a 8,22% das áreas definidas como restritas.

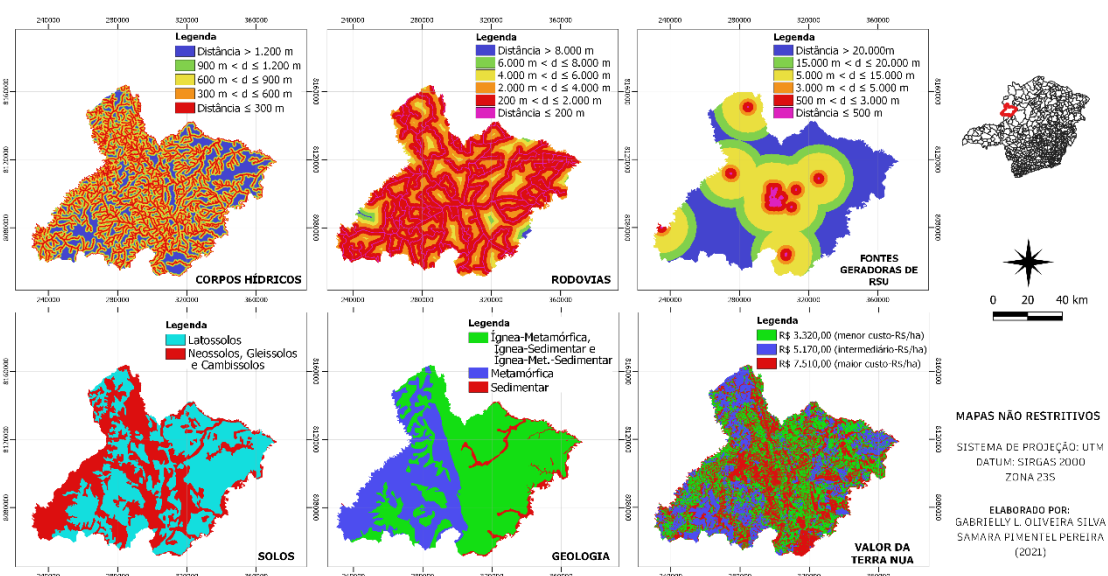
Em contrapartida, os parâmetros ambientais, neste estudo representados pela mata nativa e pelos cursos d'água, somam juntos 340.433,53 ha de áreas impróprias à implantação do aterro sanitário, estando estas espalhadas por todo o perímetro que delimita o município, representando, portanto, 95,21% das áreas restringidas. Conforme explica Faria, Ferreira e Euclides (2007), o município de Paracatu tem como principal curso d'água o rio Paracatu, considerado o maior afluente do São Francisco. O principal uso da água na bacia é a irrigação, cuja vazão consumida representa 86,6% do total demandado na bacia, seguida pelos abastecimentos animal com 10,7%, urbano com 1,5% e rural com 1,2%. Ademais, a região é rica em veredas de buritis, que são as nascentes naturais dos cursos d'água que formam ribeirões e rios.

Destaca-se ainda que foi constatada a ausência de ferrovias e unidades de conservação no município em estudo, motivo pelo qual não foram gerados mapas específicos para estes parâmetros.

3.2. MAPAS NÃO RESTRITIVOS

Outros parâmetros limitantes, porém, não restritivos, se mostraram necessários de serem analisados para uma adequada definição de áreas propícias à implantação do aterro sanitário no município em estudo. Por conseguinte, a partir das especificações apresentadas na Tabela 1 foram gerados mapas individuais com indicações de subdivisões em pesos das áreas que integram o perímetro de Paracatu (Figura 5).


Figura 5 – Análise individual dos critérios não restritivos para posterior obtenção de áreas propícias à implementação de aterro sanitário no município de Paracatu-MG



Fonte: Autoria própria (2021).

A NBR 13.896/1997 considera aptas para implantação de aterro sanitário as áreas localizadas a mais de 200 metros de qualquer coleção hídrica ou curso d'água. Atendendo a norma, o mapa de corpos hídricos possui cinco distintas classes subdivididas com pesos equivalentes a 25, 50, 75, 130 e 255 onde o maior destes valores indica a pior situação de área para construção do aterro, sendo a mesma representada pela cor vermelha.

A mesma premissa foi utilizada na composição do mapa de rodovias, obedecendo, portanto, a distância mínima de 200 metros das vias de acesso, bem como na composição do mapa de fontes geradoras de resíduos sólidos urbanos, com



uma distância mínima de 500 metros. Amaral e Lana (2017) destacam que estes valores devem ser respeitados a fim de evitar incômodos com as áreas circunvizinhas, tais como problemas de odor, ruído e desvalorização imobiliária. Porém, Oliveira Neto (2011) evidencia que distâncias longas podem interferir na viabilidade econômica do empreendimento, pois tendem a gerar gastos excessivos com combustível e aumento do tempo de coletas.

Quanto aos mapas de solo e geologia, quando na subdivisão das áreas do município em pesos, prezou-se a observância da capacidade de erosão e granulometria das partículas, visto que estas características estão diretamente ligadas à capacidade de transporte e permeabilidade do solo. Pode-se observar no município a predominância de latossolo vermelho distrófico, com expressiva presença no sentido leste, à medida que na região central há predominância da mistura de neossolos, gleissolos e cambissolos.

Por conseguinte, valendo-se das indicações de Freire (2009) que aponta os latossolos como sendo de permeabilidade alta a média e os neossolos como altamente permeáveis, optou-se por trabalhar com pesos iguais a 130 e 255, respectivamente para os dois grupos de solos encontrados no perímetro que define o município em estudo. Dias e Andrade (2020) explicam que quanto maior a quantidade de argila no solo, menor será a permeabilidade da água e, portanto, para empreendimentos como os aterros sanitários é essencial que os solos sejam argilosos para evitar que os resíduos lixiviados atinja os lençóis freáticos.

Sabendo ainda que a seleção de áreas favoráveis à implantação de aterros sanitários deve envolver estudos acerca do valor monetário das terras, foi gerado um mapa considerando as sete classes de uso e ocupação do solo presentes em Paracatu. Portanto, considerando os parâmetros ambientais e a economia local, prezou-se pela utilização de peso igual a 255 para as classes de Floresta, Corpos d'água, Infraestrutura Urbana e Mineração, resultando assim em maiores valores monetários. As áreas de Agricultura foram definidas com peso 200 (valor de terra intermediário) e as áreas de pastagem e solo nu com peso 170 (menor valorização de área). Ressalta-se que os valores definidos nesta pesquisa consideraram as indicações impostas pela Emater (2021) e trata-se de valores por hectare (R\$/ha).

3.3. MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA – AHP

Conforme esclarece Da Silva e Belderrain (2004), o método AHP é baseado na divisão do problema em níveis hierárquicos para melhor compreensão e avaliação do mesmo. Assim sendo, para diferentes fatores que contribuem para uma decisão, a tecnologia AHP fornece um procedimento abrangente e racional para determinar a contribuição relativa de cada variável. De acordo com Bernasconi *et al.* (2010) a metodologia utiliza a comparação par a par para medir o grau de importância entre critérios, definindo assim pesos relativos para cada um destes.

Por conseguinte, fazendo uso dos critérios não restritivos anteriormente apresentados, associando-os a uma matriz AHP de ordem 6×6 com Maior autovalor ($\lambda_{\text{máx}}$) igual a 6,59, Índice de consistência (IC) de 0,118 e Taxa de consistência (RC) igual a 0,095, foram definidos os pesos para cada uma das variáveis não restritivas analisadas na presente pesquisa. A Tabela 4 apresenta os referidos valores.

Tabela 3 – Pesos das variáveis não restritivas definidos a partir do uso da metodologia AHP

Mapa Não Restritivo	Peso
Distância dos corpos hídricos	0,032
Distância de fontes geradoras de RSU	0,052
Distância de rodovias	0,105
Tipos de solos	0,178
Formação geológica	0,259
Valor da terra nua	0,376

Fonte: Autoria própria (2021).

Observa-se que dentre os parâmetros não restritivos objetos de estudo desta pesquisa, o de maior peso, ou seja, prioritário para a definição das áreas de melhor aptidão para a implantação do aterro está relacionado ao Valor da terra nua. Indiretamente este fator expressa a importância da mata nativa e dos cursos d'água presentes no município, bem como a relevância da infraestrutura urbana e da mineração para a economia local, dado que o produto cartográfico do Valor da terra nua aponta estas áreas como menos propícias para fins de destinação de resíduos.

3.4. TABULAÇÃO DAS ÁREAS E MAPA COM NÍVEIS DE APTIDÃO PARA IMPLANTAÇÃO DO ATERRO

Realizada a multiplicação dos mapas temáticos individuais e dos pesos gerados a partir dos critérios previamente definidos nesta pesquisa, pixel a pixel,

gerou-se um mapa final com indicações das áreas propícias à implantação de um aterro sanitário no município de Paracatu-MG. Ademais, visando permitir uma análise mais criteriosa destas áreas, optou-se por reclassificar o referido mapa em seis distintas classes de aptidão, conforme apresenta a Tabela 5.

Tabela 4 – Classes de aptidão das áreas de acordo com a amplitude constatada

Classificação	Intervalo da amplitude
Restrito	0
Risco muito baixo	$0 < \text{amplitude} \leq 48,606$
Risco baixo	$48,606 < \text{amplitude} \leq 97,212$
Risco médio	$97,212 < \text{amplitude} \leq 145,818$
Risco alto	$145,818 < \text{amplitude} \leq 194,424$
Risco muito alto	$194,424 < \text{amplitude} \leq 243,030$

Fonte: Autoria própria (2021).

A partir da reclassificação do mapa final foi verificada a ausência de áreas consideradas de Risco baixo e Risco muito baixo. Entende-se que este fato esteja relacionado à inexistência de solos menos permeáveis na região em estudo, o que tende a gerar uma situação desfavorável quando na definição das áreas aptas à implantação do aterro sanitário. A Tabela 6 apresenta de forma detalhada os resultados das áreas obtidas.

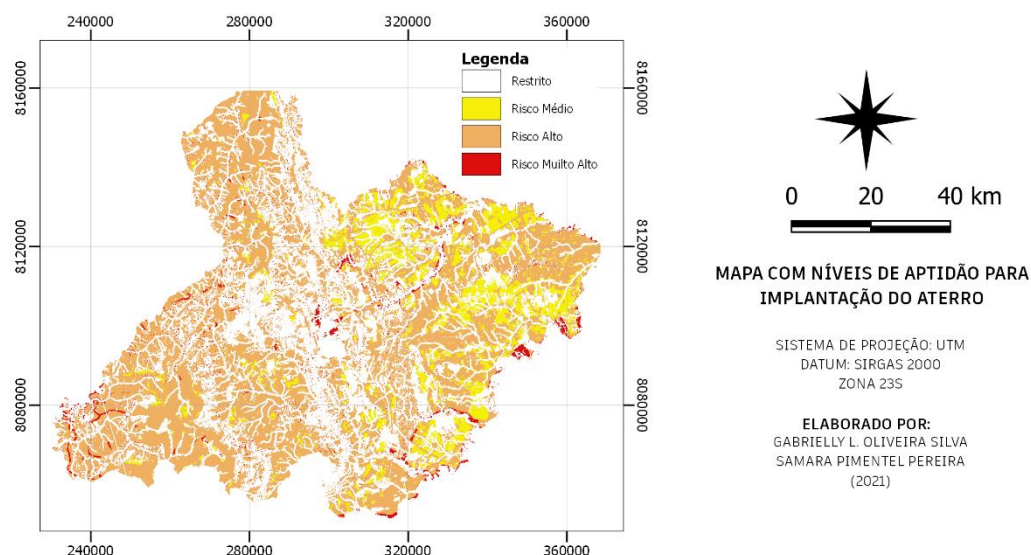
Tabela 5 – Classes de aptidão das áreas de acordo com suas pontuações finais

Classes	Área Total (ha)	Área Total (%)
Risco muito baixo	0,00	0,00
Risco baixo	0,00	0,00
Risco médio	76.528,89	9,30
Risco alto	370.790,91	45,10
Risco muito alto	17.255,25	2,10
Total	464.575,05	56,50
Delimitação do município	822.115,42	100,00

Fonte: Autoria própria (2021).

Por conseguinte, de modo a permitir a localização das áreas definidas na Tabela 6 inseridas no perímetro que define o município de Paracatu-MG, a Figura 7 apresenta o mapa final gerado.

Figura 7 – Mapa final com indicação das classes de aptidão para implantação do aterro sanitário




Fonte: Autoria própria (2021).

Constata-se, portanto, que as áreas consideradas de Risco Médio são aquelas que melhor propiciarão benefícios socioeconômicos à cidade de Paracatu, estando estas localizadas preponderantemente a leste do perímetro municipal. A indicação destas áreas se dá pelo fato de nesta região se concentrarem as ocupações de solo que representam menor valor monetário, bem como pela presença de solos menos permeáveis.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As técnicas de processamento de imagens e mapeamentos por meio de geotecnologias demonstram-se como importantes ferramentas para o conhecimento das características de um município. Nesse sentido, a partir da definição prévia de diferentes fatores e da aplicação da metodologia de análise multicritério foi possível indicar as áreas aptas para a construção de um aterro sanitário em Paracatu-MG.


Constata-se que dos 822.115,42 ha do município, 357.540,37 (43,49%) não podem ser utilizados para implantação do aterro por se enquadrarem como áreas restritas, conforme estabelece a DN COPAM nº118 de 2008. Ademais, quando analisadas as áreas não restritas, verificou-se a inexistência de áreas de muito baixo e baixo risco e, portanto, o risco médio se mostrou como aquele de melhor aptidão para implementação do aterro, correspondendo a um total de 76.528,89 ha, equivalentes a 9% da área total do município.



Por fim, destaca-se que as técnicas utilizadas nesta pesquisa integram uma etapa preliminar para a indicação de potenciais áreas de implantação de um aterro sanitário no município de Paracatu-MG, cabendo ainda a realização de estudos científicos complementares e validações em campo.

REFERÊNCIAS

- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – procedimento**. Rio de Janeiro, 1992.
- _____. **NBR 10004: resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 13896: aterros de resíduos não perigosos–critérios para projeto, implantação e operação – procedimento**. Rio de Janeiro, 1997.
- ABRELPE, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2015. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 24/11/2021.
- ALVES, N. F.; SILVA, C. R.; ALMEIDA, M. R. R. **Uso de Geotecnologias e AHP na Identificação de Áreas Propícias à Implantação de Aterro Sanitário**. Artigo científico – Anuário do Instituto de Geociências: UFRJ, 2020.
- AMARAL, D. G. P; LANA, C. E. **Uso do geoprocessamento para indicação de áreas favoráveis à construção de aterro sanitário no município de Ouro Preto (MG)**. Artigo científico. Caderno de Geografia, 2017. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/p.2318-2962.2017v27n51p642/12312>> Acesso em: 20/11/2021.
- BERNASCONI, M; CHOIRAT, C.; SERI, R. **The Analytic Hierarchy Process and the Theory of Measurement**. Management Science, 2010.
- CÂMARA, G; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. **Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**. Computers&Graphics, 1996. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0097849396000088>. Acesso em: 10/09/2021.
- CARRANZA, M. A. A. **Os planos diretores em pequenos municípios no Brasil: realidade e perspectivas a serem concretizadas como instrumento do direito urbanístico**. Trabalho de conclusão de curso. Rio de Janeiro: UFRJ, 2015. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/5436/1/MAACarranza-min.pdf>>. Acesso em 08/11/2021.
- DA SILVA, R. M.; BELDERRAIN, M. C. N. **Considerações sobre métodos de decisão multicritério**. Artigo científico. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2005.



Disponível em: < <http://www.bibl.it.br/xiencita/Artigos/Mec03.pdf>> Acesso em 20/11/2021.

DIAS, L. M. N.; ANDRADE, A. M. **Uso de geoprocessamento para indicação de áreas favoráveis à construção de aterro sanitário no município de Diamantina (MG)**. Artigo científico. Caderno de Geografia, 2020.

EMATER, EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **“Valor de terra nua (vtn)”**. Disponível em <https://www.emater.mg.gov.br/portal.do?flagweb=novosite_pagina_interna&id=19167> Acesso em 18/11/2021.

FARIA, R. F. F.; FERREIRA, P. A.; EUCLYDES, H. P. **Atualização dos estudos hidrológicos na bacia do rio Paracatu**. Seminário Agronegócio Mineiro. Minas Gerais: Secretaria do estado da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2007. Disponível em:< http://www.atlasdasaguas.ufv.br/paracatu/resumo_paracatu.html > Acesso em 17/11/2021.

FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **“Gestão de resíduos da construção civil em minas gerais.”** Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>. Acesso em :15/11/2021.

FREIRE, G. J. M. **Análise de Municípios Mineiros quanto à Situação de seus Lixões**. 2009. 104p. (Dissertação de Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais). Departamento de Cartografia -Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

GAMA, A. O. **Historiografia e memórias de Paracatu - Noroeste de Minas Gerais**. Programa de Pós-Graduação em História. Brasília: UNB, 2015. Disponível em: < https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/18413/1/2015_AlexandredeOliveiraGama.pdf>. Acesso em 08/09/2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021. **Panorama do município de Paracatu**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/paracatu/panorama>> Acesso em: 11/09/2021.

IPHAN - INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL, 2021. **Estatuto da Fundação Nacional Pró-Memória**. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/1495/#:~:text=O%20antigo%20povoado%20surgiu%20entre,tarde%2C%20nas%20terras%20de%20Goi%C3%AAs>. Acesso em: 10/09/2021.

MAPBIOMAS - PROJETO DE MAPEAMENTO ANUAL DO USO E COBERTURA DA TERRA NO BRASIL, 2021. **Mapa das coleções: coleção 5**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 14/08/2021.



MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 52, 14 de dezembro de 2001, **convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistema adequado de disposição final de lixo e dá outras providências**. Minas Gerais, Belo Horizonte, 15/12/2001. Disponível em: < http://www.blogdoconcado.com/wp-content/uploads/2011/02/dn_copam52-01-lixo.pdf>. Acesso em: 06/08/2021.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº118, 27 de junho de 2008 altera os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa 52/2001, **estabelece novas diretrizes para 43 adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado, e dá outras providências**. Minas Gerais, Belo Horizonte, 01/07/2008. Disponível em:< <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=7976>>. Acessado em: 06/08/2021.

OLIVEIRA NETO, J. T. **Determinação de áreas favoráveis à implantação de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos para o município de PIUMHI/MG**. XIII Curso de especialização em Geoprocessamento. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

PARACATU, Prefeitura Municipal de. Secretaria de Cultura, 2021. **Conheça Paracatu**. Disponível em <<http://paracatu.mg.gov.br/paracatu>>. Acesso em: 10/09/2021.

PARACATU, Prefeitura Municipal de. Secretaria de Obras e Postura. **Lei Complementar 118/16 Plano Diretor**. Paracatu, 2016.

RODRIGUES, M. P. **Diagnóstico da locação de aterro sanitário a partir do uso de sistemas de informação geográfica**. Trabalho de conclusão de curso. Uberaba: IFTM, 2018.

SANTOS, M. J. **A geologia de Paracatu**. Semana universitária – palestra. Paracatu: FINOM, 2013. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/marciotecsoma/a-geologia-de-paracatu>> Acesso em 29/11/2021.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. McGraw-Hill-New York: London, 1980.

SILVA, M. R. **Considerações sobre métodos de decisão multicritério**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São Paulo: Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica, 2014. Disponível em: <http://www.bibl.ita.br/xiencita/Artigos/Mec03.pdf>> Acesso em 10/11/2021.

CAPÍTULO III





IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE INDIANÓPOLIS-MG

DOI: 10.51859/ampla.aca955.1122-3

Heuler Hordones Chaves

Pós-Graduando em Geoprocessamento,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro - campus Uberaba
heulerchaves@estudante.iftm.edu.br

Adley Camargo Ziviani

Professor do Programa de Pós-Graduação Lato Sensu na Área Ambiental,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro - campus Uberaba
adley@iftm.edu.br

Cláudio Márcio de Castro

Professor do Programa de Pós-Graduação Lato Sensu na Área Ambiental,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro - campus Uberaba
claudiomarcio@iftm.edu.br

Antônio Carlos Barreto

Professor do Programa de Pós-Graduação Lato Sensu na Área Ambiental,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro - campus Uberaba
barreto@iftm.edu.br





RESUMO


Indianópolis é um município localizado em Minas Gerais, na região do Triângulo Mineiro, com 6.891 habitantes. O trabalho tem como objetivo identificar as áreas potenciais para a implantação de um aterro sanitário no município de Indianópolis utilizando a metodologia *Analytic Hierachy Process* (AHP). Foram avaliados critérios restritivos: declividade do terreno máxima de 30%, áreas a menos de 500 metros da infraestrutura urbana, áreas com distâncias inferiores a 100 metros de ferrovias e dutovias e áreas pertencentes a Unidades de Conservação Ambiental; e critérios não restritivos: distância da fonte geradora de Resíduos Sólidos Urbanos com o limite mínimo de 500 metros; distância das rodovias com mínimo de 200 metros; distância dos corpos hídricos; tipologia do solo e geologia e valor da terra nua. Para os critérios restritivos a atribuição de pesos fora ponderada peso 1 para as áreas não restritiva e peso 0 para as áreas restritas. Já para os critérios não restritivos os pesos variaram de 15 a 255, o qual 15 é adotado para as áreas de menor risco e 255 adotado para as áreas de maior risco. Foi elaborado o mapa final de vulnerabilidade ambiental classificando os graus de riscos em: baixo risco, médio baixo risco, médio risco, médio alto risco e alto risco. O resultado foi apresentado com a delimitação de um raio de 5 km do centro urbano destacando as áreas (141,48 ha) que oferecem o menor risco ambiental, considerando os critérios adotados. A metodologia AHP mostrou-se eficiente para a verificação de áreas potenciais para a instalação do aterro sanitário de Indianópolis. O município já conta com a instalação de um aterro controlado, que sobrepondo ao trabalho feito a área é classificada conforme o grau de vulnerabilidade ambiental como médio risco, em que a proximidade com a rodovia foi o critério que mais impactou negativamente.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Indianópolis/MG. Aterro Sanitário.

1. INTRODUÇÃO

Indianópolis é um município do estado de Minas Gerais localizado no Triângulo Mineiro com uma extensão total de 83.084,76 ha e população 6.891 habitantes. Assim a densidade demográfica é de 8,3 hab/km². Seus municípios limítrofes são: Araguari, Uberlândia, Nova Ponte, Estrela do Sul e Uberaba (IBGE, 2010).

O município tem origem primitiva na aldeia de Santana do Rio das Velhas, fundada por volta de 1750, pelo Coronel Antônio Pires de Campos, após expulsar os índios caiapós. O domínio da aldeia, que até então foi confiado aos jesuítas, logo passou aos índios bororós, que perseguiram e expulsaram os jesuítas. Os índios bororós gradativamente perderam os domínios das terras para os brancos. Em 1840, o povoado é elevado à categoria de freguesia (Freguesia dos Índios da Aldeia de Santa do Rio das Velhas). Em 1882, tornou-se distrito do município de Araguari-



MG, e no ano de 1938 foi elevado a município com o nome de Indianópolis (IBGE, 2010).

O uso e ocupação do solo dos municípios possui duas particularidades que é a presença forte mais ao norte do município de Floresta Plantada influenciada pela empresa Satipel e o represamento do Rio Araguari ao sudoeste do município.


A barragem foi construída para a Usina Hidrelétrica Miranda, que possui um reservatório de acumulação de 50,61 km². A sua operação foi iniciada em 1998 e foi incorporada ao parque gerador de ENGIE em 2017, em leilão do Governo Federal, juntamente com a Usina Hidrelétrica de Jaragua. Devido as particularidades do uso e ocupação do solo a reclassificação realizada contemplou duas categorias: Floresta Plantada e Água com o objetivo de verificar a expansão do segmento florestal e o impacto do represamento no município (ENGIE, [2021]).

Atualmente sociedades urbanas é grande parte influenciada pelo consumismo, o que acarreta o aumento da produção de resíduos sólidos urbanos. Os resíduos sólidos urbanos quando dispostos incorretamente geram degradação, poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas (MODA, 2017).

Para minimizar os impactos ambientais gerados a disposição dos resíduos sólidos de forma adequada é de suma importância, o aterro sanitário é uma das soluções mais apropriada para os rejeitos. Um grande incentivo para esta adequação foi a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) de 2010, que determinou que os lixões a céu aberto fossem extintos até 02 de novembro de 2014. Porém, mesmo após findado este prazo, parte significativa de municípios ainda realizam disposição final de resíduos de forma inadequada (MODA, 2017).

A determinação de uma área para locação de um aterro sanitário de resíduos não perigosos deve atender aos critérios técnicos impostos pela norma NBR 13.896 de 1997 (MODA, 2017). Os critérios avaliados neste trabalho para a implantação de um aterro sanitário foram: declividade, proximidade de corpos hídricos, proximidades de núcleos urbanos, facilidade de acesso, tipologia de solo, geologia e valor da terra nua.

O processo de decisão da localização de um aterro sanitário é de uma natureza de multicritérios, no qual são considerados diversos atributos o que objetiva a seleção de áreas aptas, entre várias alternativas, com base em critérios pré-estabelecidos. O que reforça a problemática de tomada de decisão da locação de um aterro sanitário é caracterizada por um número crescente de alternativas e



critérios, partindo do pressuposto que os decisores necessitam selecionar, ordenar, classificar ou ainda descrever com detalhes as alternativas. O que exige um grande esforço devido a alta complexidade, justificando um tratamento qualificado com auxílio de métodos de apoio à decisão (MARQUES, 2002).


Os métodos multicritérios são ferramentas importantes para auxiliar os tomadores de decisões. Dentre os disponíveis tem-se o método da teoria da utilidade multiatributos, conhecido como *Analytic Hierachy Process* (AHP). Que consiste basicamente na criação de um processo de construção de matrizes pareadas para cada nível da hierarquia, onde os resultados das matrizes são ponderados entre si. A metodologia AHP tem a vantagem de ponderar atributos interdependentes que direciona a seleção de áreas para a implantação de um aterro sanitário, diminuindo a subjetividade do processo (MARQUES, 2002). Outras vantagens é a avaliação de diferentes aspectos que contribuem para uma decisão, forma de combinação e consideração de critérios e forma como uns podem compensar os outros são aspectos de suma importância nas decisões.

Neste sentido o presente trabalho objetiva demonstrar o uso da análise multicritério como alternativa rápida e de baixo custo para a identificação de áreas prioritárias para a implantação de um aterro sanitários no município de Indianópolis/MG, por meio do método *Analytical Hierachy Process*, avaliando seis variáveis.

2. METODOLOGIA

O diagnóstico da situação do município de Indianópolis perante ao gerenciamento e disposição de resíduos sólidos urbanos foi levantado por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) do último ano publicado, 2019.

No presente trabalho foi utilizado a metodologia referenciada no Sistema de Informação Geográfica, utilizando o método *Analytical Hierachy Process*, metodologia desenvolvida por Thomas L. Saaty na década de 70, por meio do software *Quantum Gis* (Q-GIS). Uma metodologia simples e eficiente, que decompõe a problemática em níveis hierárquico, estratificando diferentes fatores que influenciam na tomada de decisão, os quais são comparados entre si por valores de



importância, conforme uma escala pré-definida que expressa a intensidade com que o fator predomina em relação ao outro (SILVA; NUNES, 2009).

As bases cartográficas foram escolhidas conforme metodologia apresentada por Rodrigues (2018), baseado também na Deliberação Normativa COPAM nº118, 27/2008: distância dos corpos hídricos, distância da fonte geradora, distância das vias de acesso, permeabilidade do solo, geologia e valor da terra nua; de forma a minimizar os possíveis impactos ambientais. A compilação das bases gerou a classificação de potencial de risco em seis classes (baixo risco, médio baixo risco, médio risco, médio alto risco e alto risco).

Para a formação do banco de dados foram obtidas as informações por meio da plataforma – Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA), acrescida das informações obtidas no banco de dados do Instituto Brasileiro de Informações Geográficas (IBGE). O modelo digital de elevação foi extraída do site Earth Data da Nasa. Já os dados dos valores da terra nua foram obtidos no site da Empresa de assistência técnica e extensão rural do estado de Minas Gerais (EMATER-MG).

A compatibilização dos dados espaciais foi realizada por meio da reprojeção dos dados e recorte na extensão exata das fronteiras do município de Indianópolis-MG. Todas as cartas foram utilizadas o sistema de coordenadas UTM, SIRGAS 2000, Zona 23 Sul.

As cartas foram divididas em cartas com critérios restritivos: declividade do terreno máxima de 30%, áreas a menos de 500 metros da infraestrutura urbana, áreas com distâncias inferiores a 100 metros de ferrovias e dutovias, e áreas pertencentes a Unidades de Conservação Ambiental.

Os critérios não restritivos foram a distância da fonte geradora de Resíduos Sólidos Urbanos com o limite mínimo de 500 metros; distância das rodovias com mínimo de 200 metros; distância dos corpos hídricos; tipologia do solo e geologia e valor da terra nua.

Conforme a metodologia de Saaty, cada elemento ou fatos é comparado um contra o outro, ou de dois-a-dois, com base na importância em que um fator tem sobre o outro. A seguir é apresentado a tabela com a escala de valores para a Matriz de Comparação.

Tabela 01 – Escala de valores para a Matriz de Comparação

Intensidade de importância	Definição e Explicação
1	Importância igual – os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada – um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial – um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada – um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância externa – a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários entre julgamentos – possibilidade de compromissos adicionais

Fonte: Adaptado de Saatty, 1980.

Os fatores não restritivos foram agrupados para a atribuição dos valores de significância entre os critérios, conforme Tabela 02. O fator que foi atribuído o maior valor comparativo entre a distância dos corpos hídricos com a tipologia do solo.

Tabela 02 – Matriz de comparação

	Dist. Corpos Hídricos	Dist. Fonte Geradora	Dist. de Rodovias	Tipo de Solo	Form. Geológica	Valor da Terra Nua
Dist. Corpos Hídricos	1	0,33	0,33	0,20	0,33	0,33
Dist. Fonte Geradora	3	1	0,33	0,50	0,33	0,50
Dist. de Rodovias	3	3	1	0,50	0,33	0,50
Tipo de Solo	5	2	2	1	0,33	0,50
Formação Geológica	3	3	3	3	1	0,50
Valor da Terra Nua	3	2	2	2	2	1

Fonte: Do autor, 2021.

Com os valores da intensidade de valores adotados acima obteve-se um λ máximo de 6,534, um Índice de consistência (Ci) = 0,122, um Índice de consistência aleatório (Ri) = 1,24 e a taxa de consistência (CR) = 0,098, valor menor ao indicado por Saaty (1991).

Para os critérios restritivos a atribuição de pesos no presente trabalho fora ponderada com notas 0 e 1, as classes com nota 1 representam as áreas não restritiva e as classes com nota 0 representam as áreas restritas. Ou seja, para as áreas onde não é permitida a instalação de aterros sanitários atribuiu-se valores

iguais a 0 e para as áreas onde é permitida a instalação de aterros sanitário atribuiu-se valores iguais a 1.

Tabela 03 – Pesos para os critérios restritivos

Crítérios	Classes	Pesos
Declividade	Acima de 30%	0
	Abaixo de 30%	1
Distância de núcleos populacionais	Abaixo de 500 metros	0
	Acima de 500 metros	1
Unidades de Conservação Ambiental	Dentro do perímetro	0
	Fora do perímetro	1
Distância de Ferrovia e Dutovias	Abaixo de 100 metros	0
	Acima de 100 metros	1
Mapa de águas	Áreas ocupadas por água	0
	Demais áreas	1

Fonte: Do autor, 2021.

Já para os critérios não restritivos os pesos variaram de 15 a 255, em que o peso 15 é adotado para as áreas de menor risco e o peso 255 adotado para as áreas de maior risco, conforme Tabela 03. Os intervalos adotados foram adaptados do trabalho de Rodrigues (2018). Para o critério de rodovias foi considerado que quanto mais próximo das vias de acesso estiver o Aterro Sanitário maior a pontuação; a distância da fonte geradora seguiu a premissa de quanto mais próximo da fonte geradora maior o peso adotado; para a distância de corpos hídricos considerou-se que quanto mais próximo maior o potencial de poluição e maior o peso adotado; quanto ao solo, quanto mais permeável maior o peso; premissa semelhante para a tipologia geológica e para o valor da terra nua, quanto maior o valor capital maior a pontuação, com exceção das florestas nativas adotado o valor máximo, já que se torna questionável a supressão da vegetação nativa para a implantação de um aterro sanitário.

Tabela 04 – Ponderação de critérios não restritivos.

Crítérios	Classes	Pesos
Distância de Rodovias	até 200 metros	255
	200 - 2000 metros	175
	2000 - 4000 metros	130
	4000 - 6000 metros	95
	6000 - 8000 metros	55
	mais de 8000 metros	25
Distância da fonte geradora de resíduos sólidos urbanos	até 500 metros	255
	500 - 3000 metros	150
	3000 - 5000 metros	100



Critérios	Classes	Pesos
Distâncias de corpos hídricos	5000 - 15000 metros	50
	15000 - 20000 metros	30
	mais de 20000 metros	15
	até 300 metros	255
	300 - 600 metros	130
	600 - 900 metros	75
	900 - 1200 metros	50
	1200 - 1500 metros	25
Tipos de solo	Latossolos Vermelhos Distróficos + Latossolos Vermelho-Amarelo Distróficos	130
	Latossolos Vermelhos Distróficos + Argissolos Vermelhos Eutróficos	255
	Latossolos Vermelhos Distroféricos + Latossolos Brunos Distróficos	130
Formação Geológica	Formação Serra Geral	130
	Formação Araxá	150
	Suíte Jurubatuba	150
	Formação Marília	255
Valor da Terra Nua (VTN)	Lavoura Regular - R\$19.000,00/hec	255
	Pastagem - R\$17.000,00/hec	170
	Silvicultura - R\$16.000,00	150
	Floresta Nativa - R\$10.000,00	255

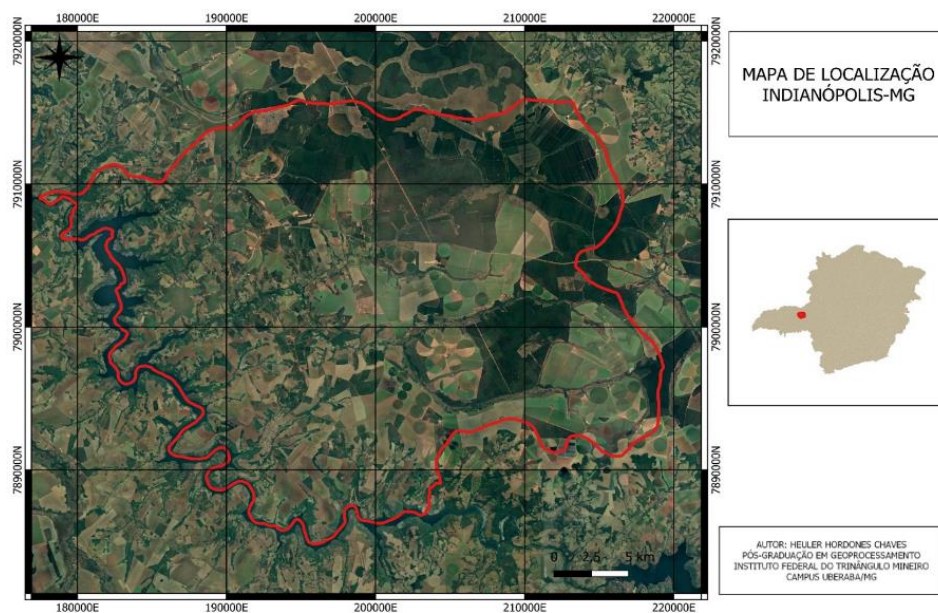
Fonte: Do autor, 2021.

Após os respectivos pesos foi elaborado o mapa final de vulnerabilidade ambiental classificando os graus de riscos em: baixo risco, médio baixo risco, médio risco, médio alto risco e alto risco. Como o principal objetivo do trabalho é a identificação das áreas potenciais, estas foram definidas pelas áreas classificadas como baixo risco. Balizando a escolha visando melhor planejamento logístico de transporte, foi delimitado um raio de 5 km para a identificação das melhores áreas de implantação do aterro sanitário.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 01 apresenta a localização do município de Indianópolis/MG, a qual destaca a oeste a área ocupada pela água da represa da Hidrelétrica de Miranda e ao norte grande presença de silvicultura.

Figura 01 – Localização de Indianópolis/MG



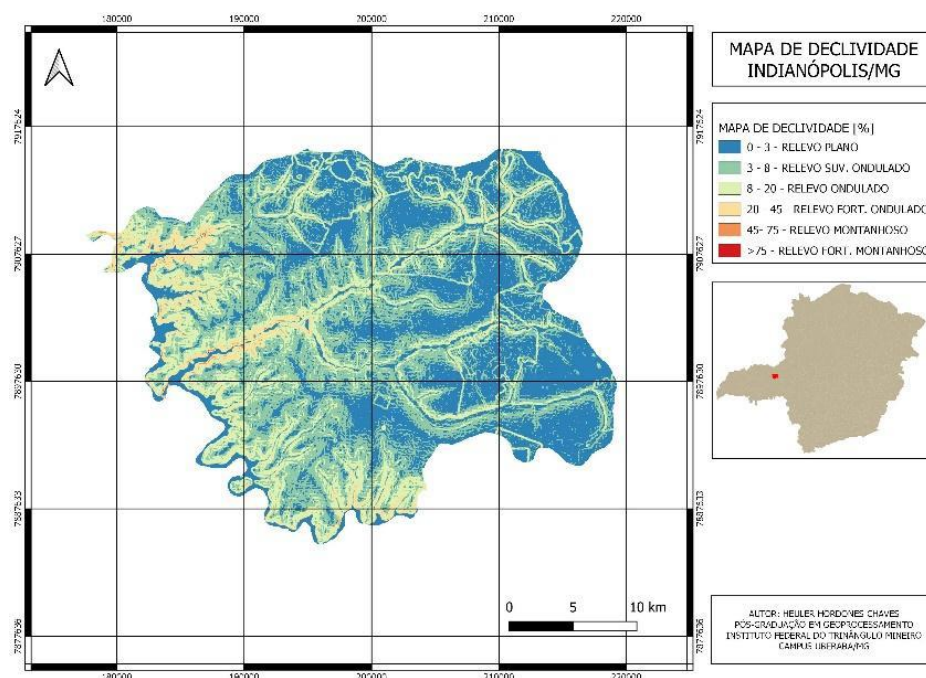
Fonte: Do autor, 2021.

Segundo do SNIS de 2019 o município de Indianópolis conta com a massa de lixo coletada per capita de 0,50 Kg/(hab.xdia), considerando que a população urbana é de 4.515 habitantes a massa diária de coleta é de aproximadamente 2,5 toneladas. A disposição final dos resíduos coletados é um aterro controlado as margens da MG-900 gerido pelo próprio município. A unidade está em operação desde 2014, porém recebeu geomembrana somente ao final de 2019 (SNIS, 2019).

A declividade do município de Indianópolis é plana, sendo poucas as áreas com declividades acentuadas maiores que 30%, critério utilizado conforme Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental (DN COPAM) nº 118 de 2008. As áreas com as maiores declividades estão próximas os cursos d'água, mais especificamente próximo ao Rio Araguari a oeste do município. As altas declividades favorecem a instabilidades das encostas que potencializa eventos erosivos e dificulta a captação e o encaminhamento do chorume gerado pela decomposição da matéria orgânica além de possuir uma dificuldade operacional. A Figura 02 apresenta as faixas de declividade segundo a Empresa Brasileira de

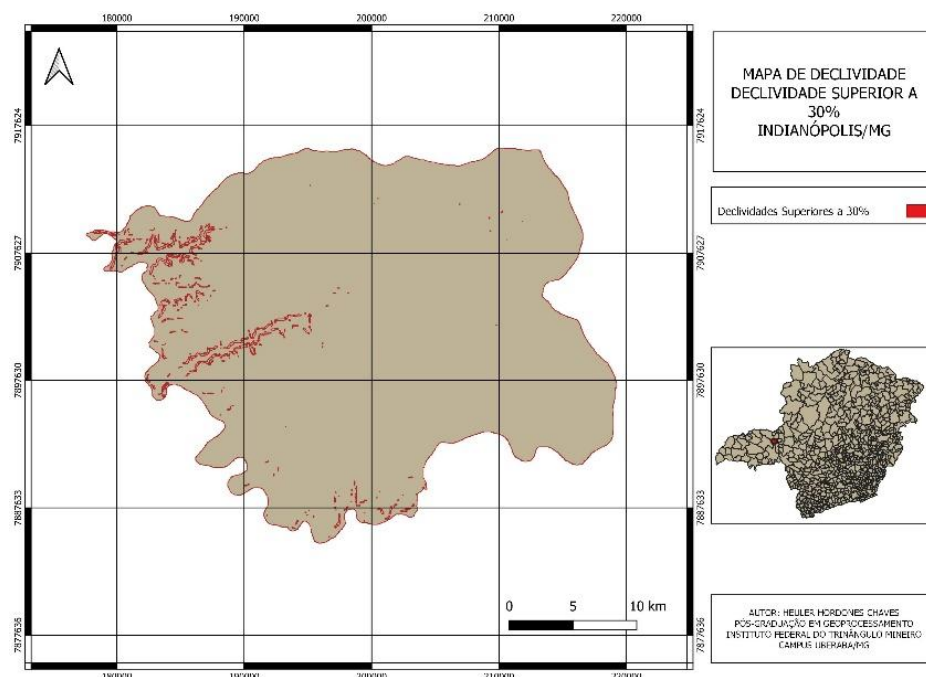
Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (1979) e a Figura 03 destaca as áreas que possuem declividades superiores a 30%.

Figura 02 – Mapa de declividade segundo classificação da EMBRAPA (1979)



Fonte: Do autor, 2021.

Figura 03 – Declividades superiores a 30%

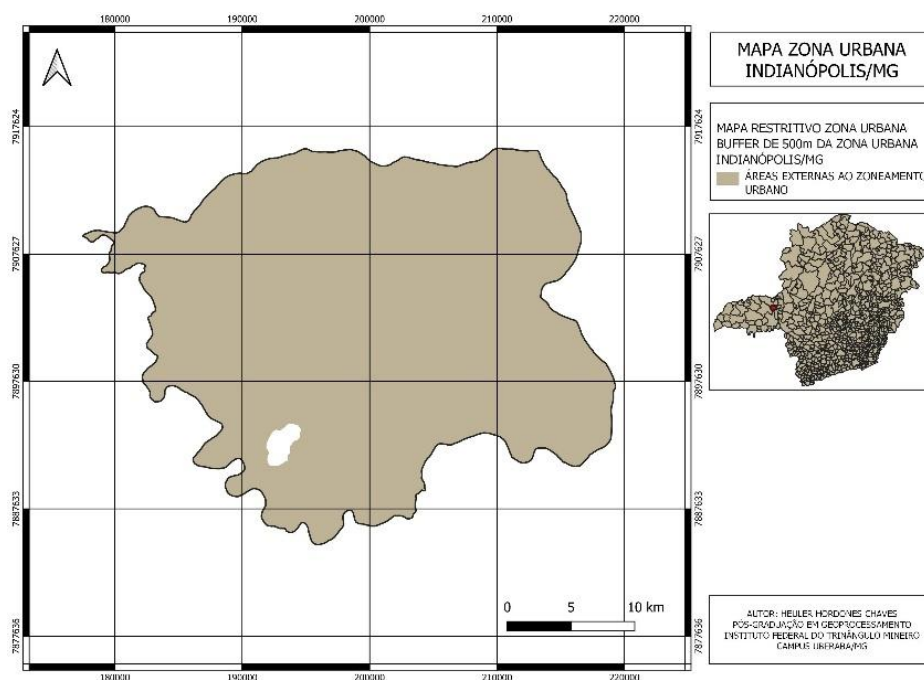


Fonte: Do autor, 2021.

A DN COPAM nº118 de 2008 recomenda uma distância mínima de 500 metros dos núcleos populacionais. Os principais impactos ocasionados pela

proximidades entre os aterros sanitários e os núcleos urbanos são o mau cheiro, impacto visual negativo e atração de animais (ratos e urubus). Para a geração do mapa foi utilizado a ferramenta buffer, com a distância de 500 metros a partir da área de infraestrutura urbana obtida por meio do raster baixado do projeto MapBiomas de 2019.

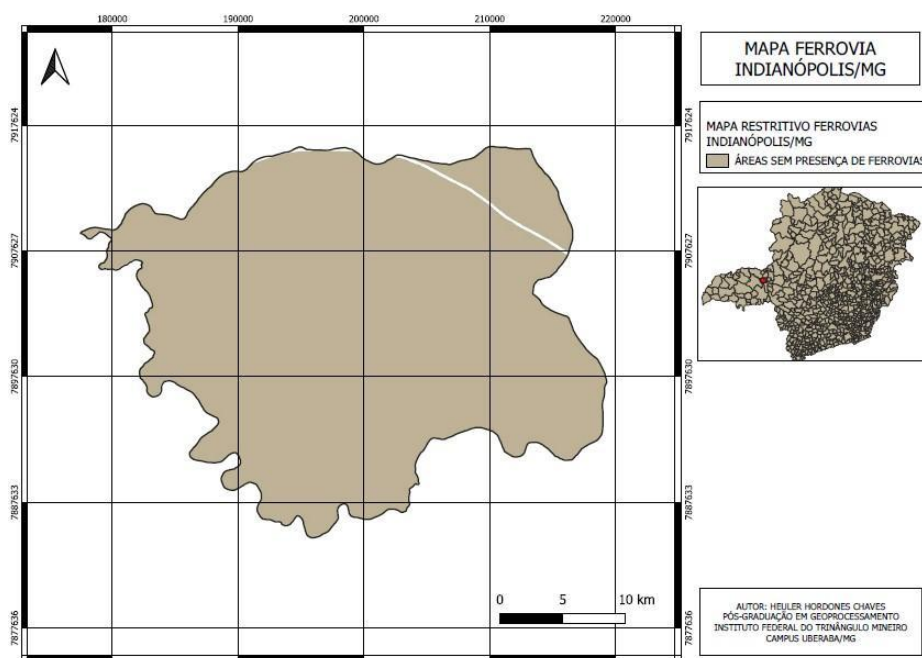
Figura 04 – Distância da fonte geradora de resíduos sólidos urbanos



Fonte: Do autor, 2021.

Por meio da plataforma IDE-Sisema não foram localizadas Unidades de Conservação Ambiental nem dutovias no interior do município de Indianópolis/MG. Restando apenas a apresentação do mapa restritivo da distância de ferrovias, Figura 05. A linha férrea é pertencente a companhia Ferrovia Centro Atlântica e passa ao norte do município, para a distância de ferrovia foi adotado o valor de 100 metros.

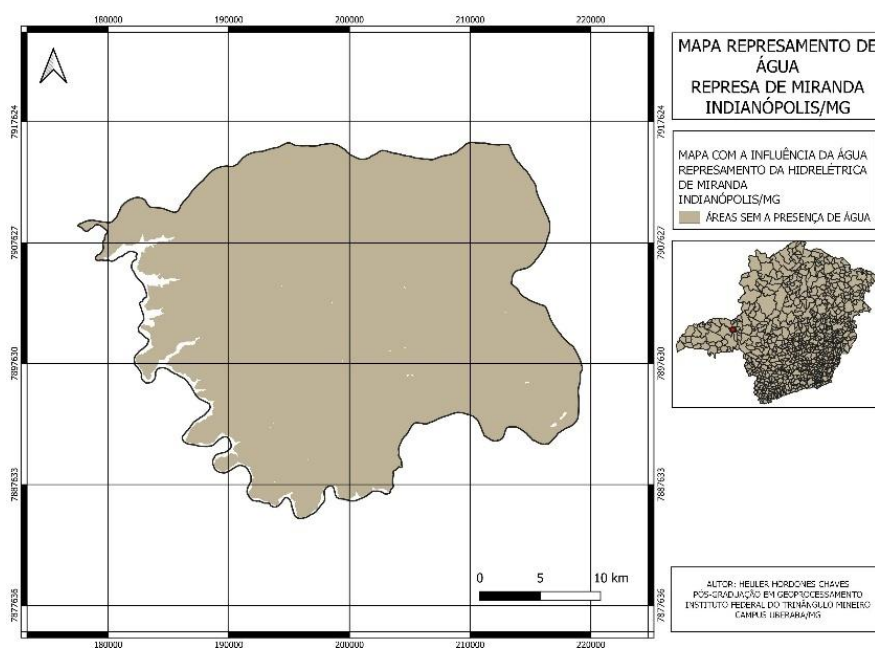
Figura 05 – Mapa de ferrovias em Indianópolis/MG



Fonte: Do autor, 2021.

O município de Indianópolis possui a represa da Usina Hidrelétrica de Miranda, que possui um reservatório de acumulação de 50,61km². Com a operação iniciada em 1998 e foi incorporada ao parque gerador de ENGIE em 2017, em leilão do Governo Federal, juntamente com a Usina Hidrelétrica de Jaguará. Devido a particularidade e a expressiva área ocupada pelo represamento foi elaborado um mapa de inundação da represa.

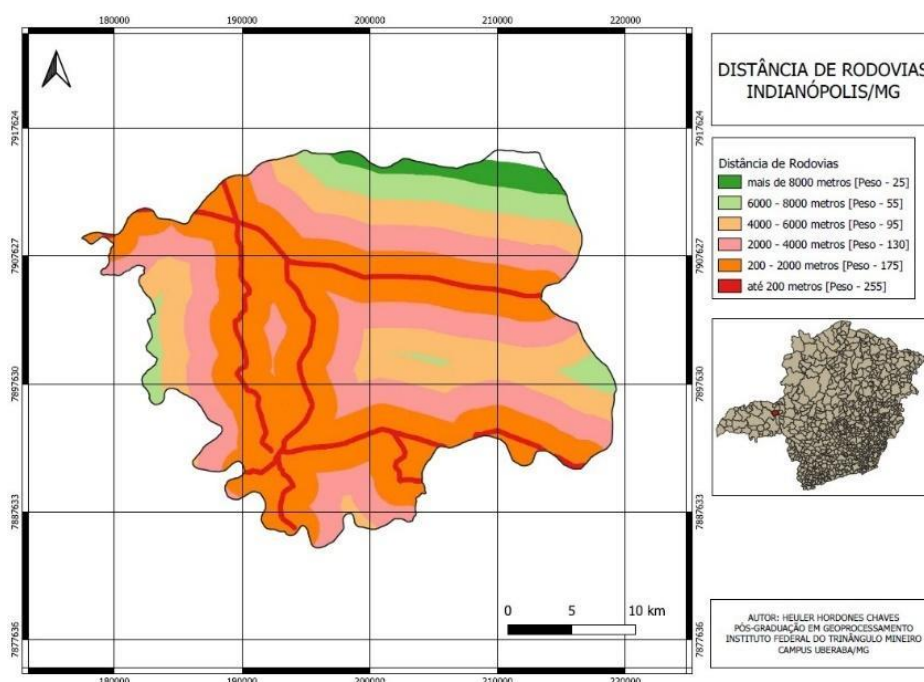
Figura 06 – Mapa de represamento da Usina Hidrelétrica de Miranda



Fonte: Do autor, 2021.

A infraestrutura de transporte, atribuída principalmente as rodovias permite avaliar as áreas mais próximas das vias de acesso, já que um dos custos mais onerosos para a manutenção e operação do aterro sanitário é proporcionado pela logística. Existe a distância mínima de rodovias para a implantação de um aterro sanitário (100 metros), que objetiva preservar as áreas de transmissão do impacto visual provocado pelo aterro sanitário. Para a confecção do mapa foi utilizado o o plugin “Multi Distance Buffer”, conforme a Figura 07.

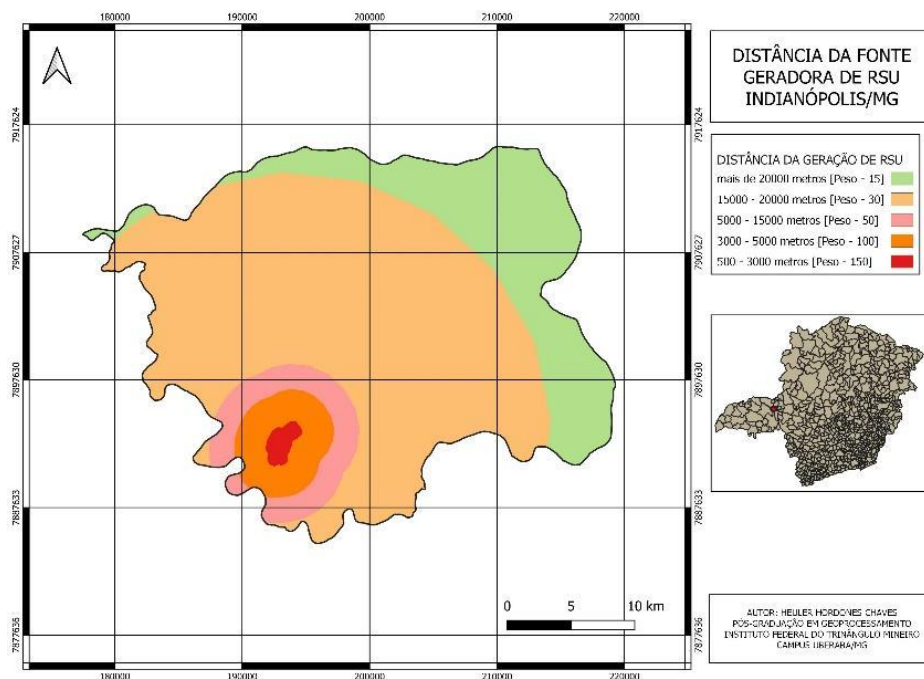
Figura 07 – Mapa das distâncias e pesos das estradas e rodovias



Fonte: Do autor, 2021.

Como já citado anteriormente a logística da operação de um aterro é um dos principais custos. Locais muito distantes da fonte geradora de Resíduos Sólidos Urbanos oneram os custos de transporte, na contramão, locais muito próximos causam insatisfação da população. A Figura 08 apresenta a distância da fonte geradora de resíduos sólidos urbanos.

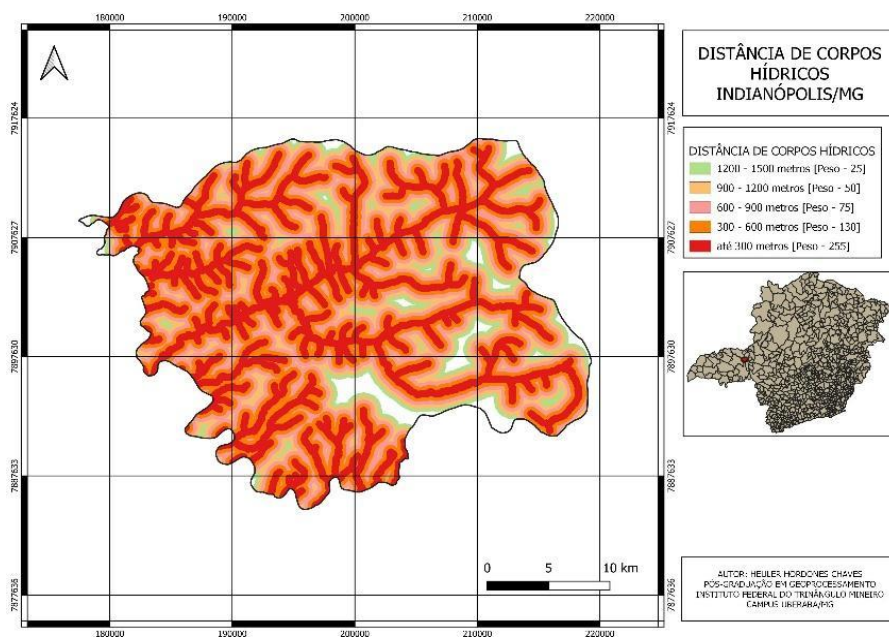
Figura 08 – Distância da fonte geradora de resíduos sólidos urbanos



Fonte: Do autor, 2021.

Um aterro sanitário exige cuidados com a impermeabilização do solo e sistema de drenagem, para evitar possível contaminação das águas. Logo é indispensável a relevância da localização do aterro sanitário perante os cursos d'água. Segundo a DN COPAM nº118 de 2008 a distância mínima para qualquer corpo hídrico é de 300 metros. A Figura 09 apresenta as distâncias escalonadas dos corpos hídricos.

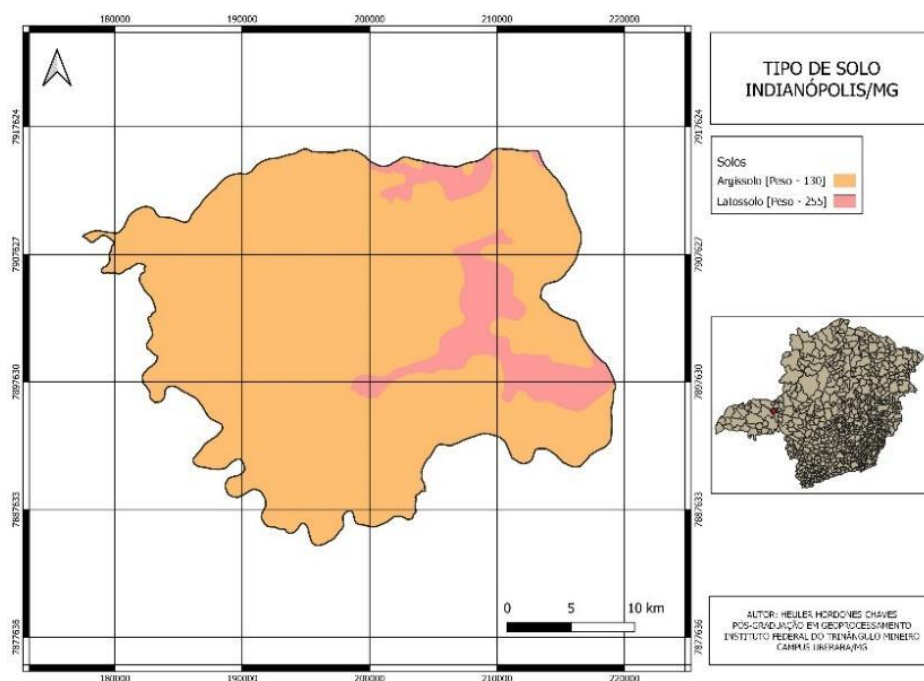
Figura 09 – Mapa das distâncias dos corpos hídricos



Fonte: Do autor, 2021.

Para a escolha da área de um aterro sanitário deve ser observada, também a permeabilidade do solo. Segundo a DN COPAM nº118 de 2008 é indicado que o aterro seja sob solos de baixa permeabilidade, o que influencia na capacidade de depuração e na velocidade de infiltração. Para a construção de aterros sanitários é obrigatório a aplicação de uma manta impermeável, geralmente utiliza-se manta de PEAD, porém a permeabilidade do solo é de suma importância para minimizar o impacto, caso haja um eventual rompimento e percolação do chorume. A Figura 10 apresenta a reclassificação das classes de permeabilidade por meio da tipologia de solo da área, encontrado principalmente solos argilosos com uma menor permeabilidade e latossolo com uma permeabilidade mais alta.

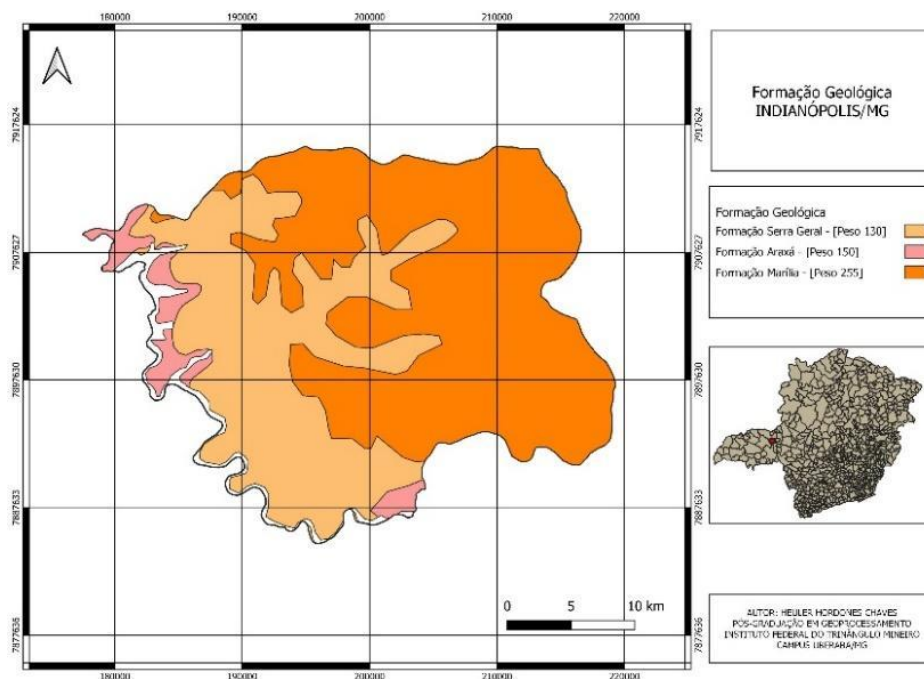
Figura 10 – Mapa da tipologia do solo



Fonte: Do autor, 2021.

Com a mesma abordagem a formação geológica também pode potencializar o grau de risco de contaminação por meio da sua permeabilidade. As unidades geológicas presentes no município de Indianópolis são a Formação Marília, Formação Araxá, Formação Serra Geral e Sítio Geológico Jurubatuba. Com peso de 150 para a Formação Araxá e o Sítio Geológico Jurubatuba e peso de 255 para a Formação Marília. A Figura 11 apresenta os pesos e as localidades das formações geológicas encontradas.

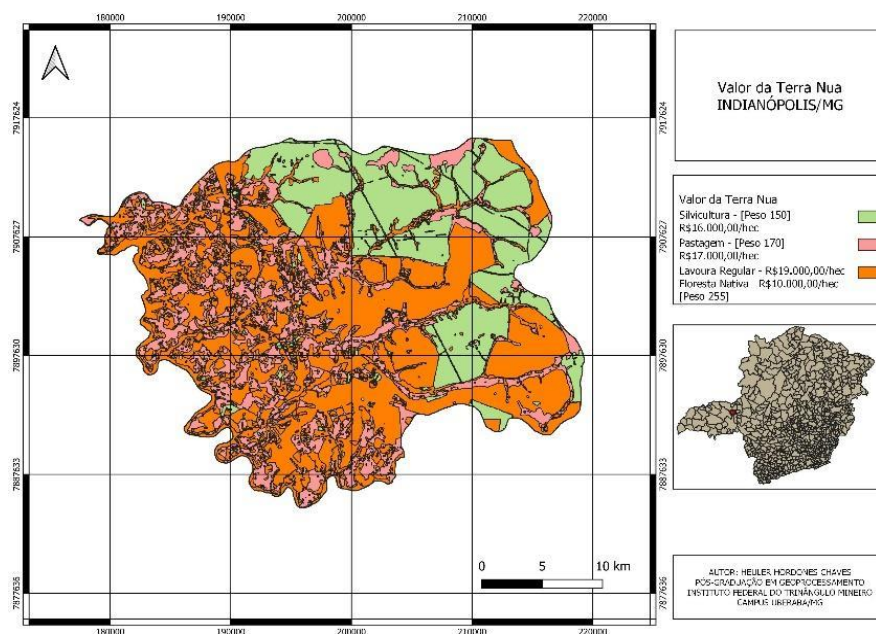
Figura 11 – Mapa de geologia



Fonte: Do autor, 2021.

Os valores da Terra Nua (VTN) foram obtidos por meio do portal da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. O valor é um informativo médio de terras nuas coletados anualmente em cada município. O valor da terra pode influenciar a decisão da escolha da área final do aterro sanitário, sendo atribuídos maiores pesos para as áreas com maior valor e áreas de floresta nativa. A Figura 12 apresenta os valores e pesos adotados.

Figura 12 – Mapa de Valor da Terra Nua



Fonte: Do autor, 2021.

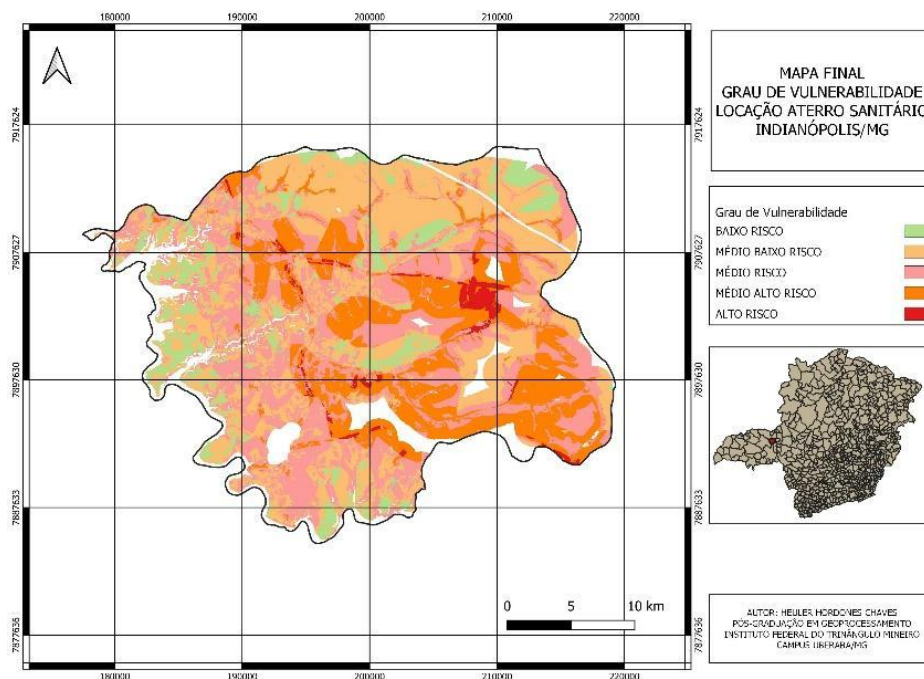


Por meio da metodologia AHP chegou-se aos valores do índice de consistência (C_i) igual a 6,534, o índice de consistência aleatória (λ) igual a 0,117 e a taxa de consistência de 0,086, que segundo Saaty (1991) deve ser inferior a 0,1. Com a matriz de comparação dos critérios chegou-se aos respectivos pesos, ou seja, o peso que determinado fator terá sobre os outros, por meio da média geométrica dos critérios de importância dividido pelas somas dessas médias. Os valores encontrados foram: distância dos corpos hídricos (0,055), distância da fonte geradora de RSU (0,098), distância de rodovias (0,14), tipologia do solo (0,175), formação geológica (0,263) e valor da terra nua (0,269).

Comparando com os valores dos pesos estatísticos encontrados por Andrade e Barbosa (2015) o valor encontrado distância da fonte geradora foi de 16,6%, valor superior ao encontrado neste trabalho (9,8%). Quanto a tipologia do solo os autores referenciados acima encontraram 15,2%, valor inferior ao encontrado neste trabalho 17,5%. O critério avaliado com maior prioridade relativa encontrada por Andrade e Barbosa (2015) foi de 16,6% para Núcleo Urbano, contra os 26,9% encontrados para o Valor da Terra Nua (VTN) encontrados neste trabalho.

Por meio da álgebra de mapas, utilizando a ferramenta *Calculadora Raster*, foi possível a combinação dos critérios adotados a fim de criar um produto cartográfico que mostrasse as áreas mais e menos propícias à construção de um aterro sanitário. O mapa final foi classificado em 6 classes de vulnerabilidade ambiental (Figura 13) de acordo com a pontuação final das áreas, obtidas através da multiplicação dos mapas temáticos. A classificação seguiu os seguintes valores: 115,215 a 139,269 (Baixo Risco); 139,269 a 163,323 (Médio Baixo Risco); 163,323 a 187,377 (Médio Risco); 187,377 a 211,431 (Médio Alto Risco) e 211,431 a 235,485 (Alto Risco).

Figura 13 – Grau de vulnerabilidade para locação de aterro sanitário em Indianópolis-MG



Fonte: Do autor, 2021.

Refinando os resultados foi apresentado um raio de 5 km do centro urbano as áreas que oferecem o menor risco ambiental, conforme os critérios adotados (Figura 13). A área identificada com baixo risco equivale a 141,48 hectares.

A Figura 13 apresenta o ponto de localização do aterro controlado já instalado no município que se encontra as margens da MG-900. Pela classificação apresentada por este trabalho a área se encontra como área de médio risco e o fator que mais impactou negativamente nos pesos foi a proximidade com a rodovia. Porém ao se observar a ampliação da Figura 14, existe uma área classificada como baixo risco, próximo ao aterro controlado existente.

Figura 14 – Menor risco ambiental para implantação de um aterro sanitário em Indianópolis/MG



Fonte: Do autor, 2021.

4. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados fornecem informações que auxiliam a administração pública do município de Indianópolis/MG. A metodologia *Analytic Hierachy Process* (AHP) mostrou-se eficiente para a verificação de áreas potenciais para a instalação do aterro sanitário de Indianópolis. O município já conta com a instalação de um aterro controlado, que sobrepondo ao trabalho feito a área é classificada conforme o grau de vulnerabilidade ambiental como médio risco, em que a proximidade com a rodovia foi o critério que mais impactou negativamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, Alex Jailson Barbosa; BARBOSA, Nelcy Paulo Pina. COMBINAÇÃO DO MÉTODO AHP E SIG NA SELEÇÃO DE ÁREAS COM POTENCIAIS PARA A INSTALAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO: CASO DA ILHA DO FOGO, NA REPÚBLICA DE CABO VERDE. **Revista de Geografia**, Recife, v. 32, n. 02, p. 248-266, fev. 2015.
- ENGIE. **Usina Hidrelétrica de Miranda**. [2021]. Disponível em: <https://www.engie.com.br/complexo-gerador/usinas/usina-hidreletrica-miranda/>. Acesso em: 25 nov. 2021.



IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2012. **Indianópolis Minas Gerais – Aspectos Históricos**, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?codmun=317010>>. Acesso: 16 de novembro de 2021

INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS DO SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **WebGis**. Disponível em: <<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/#>>. Acesso em: 19 de novembro de 2021.

MARQUES, Gilvana Nogueira. **Seleção de áreas para aterros sanitários baseada em mapeamento geotécnico e Analytic Hierarchy Process - AHP**. 2002. 217 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002

MARQUES, Gilvana Nogueira. **SELEÇÃO DE ÁREAS PARA ATERROS SANITÁRIOS BASEADA EM MAPEAMENTO GEOTÉCNICO E ANALYTIC HIERARCHY PROCESS - AHP**. 2002. 217 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa nº 118, de 27 de junho de 2008. **Estabelece Novas Diretrizes Para Adequação da Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado, e Dá Outras Providências**. Belo Horizonte, MG, 01 jul. 2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=7976>>. Acesso em: 19 de novembro de 2021.

MODA, Raissa Franco. **IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NA REGIÃO METROPOLITANA DE LONDRINA/PR**. 2017. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

OLIVEIRA NETO, J. T. **Determinação de áreas favoráveis à implantação de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos para o município de Piumhi-MG**. 2011. 43f. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

RODRIGUES, Vinícius Silva. **DIAGNÓSTICO DA LOCAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO A PARTIR DO USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA UBERABA, MG 2018**. 2018. 49 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós Graduação em Saneamento Ambiental, Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2018.

Saaty, T. , 1980, The analytic hierarchy process. New York: McGraw-Hill,. 287p.

Saaty, T. L. (1991). Método de análise hierárquica. São Paulo: Makron Books.

SILVA, Cristiano Alves da; NUNES, Fábio de Paiva. MAPEAMENTO DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL UTILIZANDO O MÉTODO AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de pacoti/ce. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais [...]**. Natal: Inpe, 2009. p. 5435-5442.





CAPÍTULO IV

ÁREAS PROPÍCIAS À INSTALAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE LUÍS EDUARDO MAGALHÃES-BA

DOI: 10.51859/ampla.aca955.1122-4

Joélia Silva dos Santos

Instituto Federal da Bahia, Mestre em Planejamento Territorial, Barreiras, BA, Brasil
E-mail: joelia.silva@ifba.edu.br

José Renato Araújo

Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Especialização em Geoprocessamento, Uberaba, MG, Brasil
E-mail: jose.renato@estudante.iftm.edu.br

Magda Stella de Melo Martins

Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Doutora em Agronomia, Uberaba, MG, Brasil
E-mail: magda@iftm.edu.br

Fausto Antônio Domingos Junior

Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Doutor em Agronomia, Uberaba, MG, Brasil
E-mail: fausto@iftm.edu.br

Renato Farias do Valle Junior

Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Doutor em Agronomia, Uberaba, MG, Brasil
E-mail: renato@iftm.edu.br

Joyce Silvestre de Sousa

Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Doutora em Recursos Hídricos em sistemas agrícolas,
Uberaba, MG, Brasil
E-mail: joyce@iftm.edu.br

Vera Lúcia Abdala

Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Doutora em Agronomia, Uberaba, MG, Brasil
E-mail: vlabdala@iftm.edu.br





RESUMO


De acordo com a lei brasileira o aterro sanitário é o espaço ambientalmente adequado para a disposição final dos resíduos sólidos. Contudo, existem riscos inerentes à instalação desse tipo de empreendimento que pode afetar a população e a preservação dos recursos naturais. As normativas que direcionam os procedimentos a serem adotados na construção do aterro elencam várias restrições à escolha da área e não recomendam a instalação dentro da Área de Proteção Ambiental - APA. Contudo, no município de Luís Eduardo Magalhães-Ba a área delimitada para construção do aterro sanitário encontra-se dentro da APA da Bacia do Rio de Janeiro. Diante dessa problemática o objetivo deste artigo é identificar áreas mais apropriadas à instalação do aterro sanitário no referido município com a utilização da metodologia *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Os resultados indicaram que o município dispõe de 13.315,68 hectares classificados como médio risco, o que corresponde a 4,77% da sua área, excetuando o perímetro da APA. Este estudo pode auxiliar os órgãos públicos responsáveis pelo planejamento urbano municipal nas decisões que assegurem menor impacto ambiental a curto, médio e longo prazo.

Palavras-chave: Resíduos. Preservação. Impacto. População. Recursos naturais.

1. INTRODUÇÃO

A relação entre o aumento populacional e o crescimento da geração de resíduos sólidos implicou em diversos desafios para a sociedade brasileira ao longo do processo de urbanização. A partir de meados do século XX o crescimento acelerado das cidades impulsionado pelos processos industriais, culminou com a consolidação da sociedade de consumo. Os grandes fluxos migratórios regionais que ocorreram no Brasil a partir da década de 1940 provocaram, em poucas décadas, um inchaço populacional em áreas que não dispunham de infraestrutura adequada para comportar uma população cada vez mais crescente. Assim, a urbanização se tornou generalizada e o turbilhão demográfico foi um dos fatores notórios desse contexto (SANTOS, 1993).

As principais capitais brasileiras passaram pelo dilema do crescimento populacional no contexto aludido. A cidade de Salvador, capital do estado da Bahia, possuía 290.443 habitantes na década de 1940 (IBGE). Esse número mais que dobrou nas duas décadas seguintes, chegando a 655.735 e 1.531.242 habitantes em 1960 e 1980 respectivamente. Contudo, cidades que foram constituídas a partir do final do século XX também apresentaram crescimento populacional intenso, é o caso do município de Luís Eduardo Magalhães (LEM) que se emancipou do município de Barreiras no ano 2000, quando contava com uma população de 18.757 habitantes



que triplicou em uma década, chegando a 60.105 pessoas em 2010 e com estimativa de 92.671 habitantes para 2021.


O crescimento populacional das cidades brasileiras ocorreu sem o devido planejamento urbano e criou demandas por bens e serviços como moradia, alimentação, transporte público, saúde, educação, etc., atrelado ao aumento da produção de resíduos sólidos, o que impõe inúmeros desafios para a gestão territorial. Dentre eles, podemos destacar a ausência de locais adequados para a disposição dos resíduos e a dificuldade para a administração pública municipal gerir o tratamento e o descarte final dos rejeitos cuja quantidade continua a crescer a cada ano.

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020), o Brasil terá um aumento de aproximadamente 50% na produção de resíduos em 2050 em comparação a 2019, ao mesmo tempo em que a projeção de crescimento populacional é de 12% no mesmo intervalo temporal. Nesse sentido, é urgente a aplicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída pelo estado brasileiro por meio da Lei nº 12.305/2010 com as diretrizes para a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos pelas pessoas físicas ou jurídicas tanto no âmbito público quanto privado, o que incluem estados e municípios.

Em consonância com a lei supracitada o Decreto nº 7.404/2010 regulamentou e estabeleceu critérios para a construção dos Planos de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos (PGRS). Dessa forma, o aterro sanitário foi considerado o espaço ambientalmente adequado para a disposição final dos rejeitos gerados nas cidades e os municípios brasileiros passaram a ter a incumbência de substituir os lixões para adequar suas política de resíduos sólidos urbanos (RSU) às normativas legais.

Em uma década de vigência da PNRS a geração total de RSU no Brasil cresceu cerca de 19% e muitas cidades brasileiras ainda utilizam lixões como locais de descartes dos resíduos. Nesse aspecto, a região Nordeste possui a maior quantidade de cidades em situação irregular, sendo 1.340 municípios, o que corresponde a 74,6% do total (ABRELPE, 2020).

Em conformidade com a PNRS (Lei nº 12.305/2010) o estado da Bahia instituiu a Política Estadual de Resíduos Sólidos - PERS por meio da Lei nº 12.932/2014, tendo como base a Política Estadual de Saneamento Básico (Lei



11.172/2008), atrelada a Política Estadual de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade (Lei nº 10.431/2006). Essas normativas fundamentam e vinculam institucionalmente os órgãos estaduais que serão responsáveis pela formulação, coordenação, implementação, monitoramento e avaliação da PERS.

De acordo com a Lei nº 14.026/2020, que fez alterações no marco legal do saneamento básico, os municípios devem implementar a disposição adequada dos rejeitos considerando o número de habitantes. No caso do município em estudo, que possui população entre 50.000 (cinquenta mil) e 100.000 (cem mil) habitantes de acordo com o Censo Demográfico de 2010, o prazo é até 02 de agosto de 2023 (BRASIL, 2020). Contudo, a área delimitada pela administração pública municipal para construção do aterro sanitário encontra-se dentro da Unidade de Conservação da Bacia do Rio de Janeiro.

A justificativa da pesquisa consiste na necessidade de viabilizar resultados que possam servir de base para direcionar ações que resultem na redução de danos à sociedade e ao meio ambiente com a instalação de empreendimentos de risco. Embora o município já tenha realizado estudos técnicos e definido o perímetro da área, é fundamental alertar as autoridades públicas sobre as questões que foram verificadas a partir dos estudos científicos realizados e sugerir alternativas para que possam redirecionar as ações. Nesse sentido, os resultados desta pesquisa podem servir como referência para a análise e contribuir como marco na reorganização do projeto do aterro, tornando a sua execução ambientalmente adequada e sustentável.

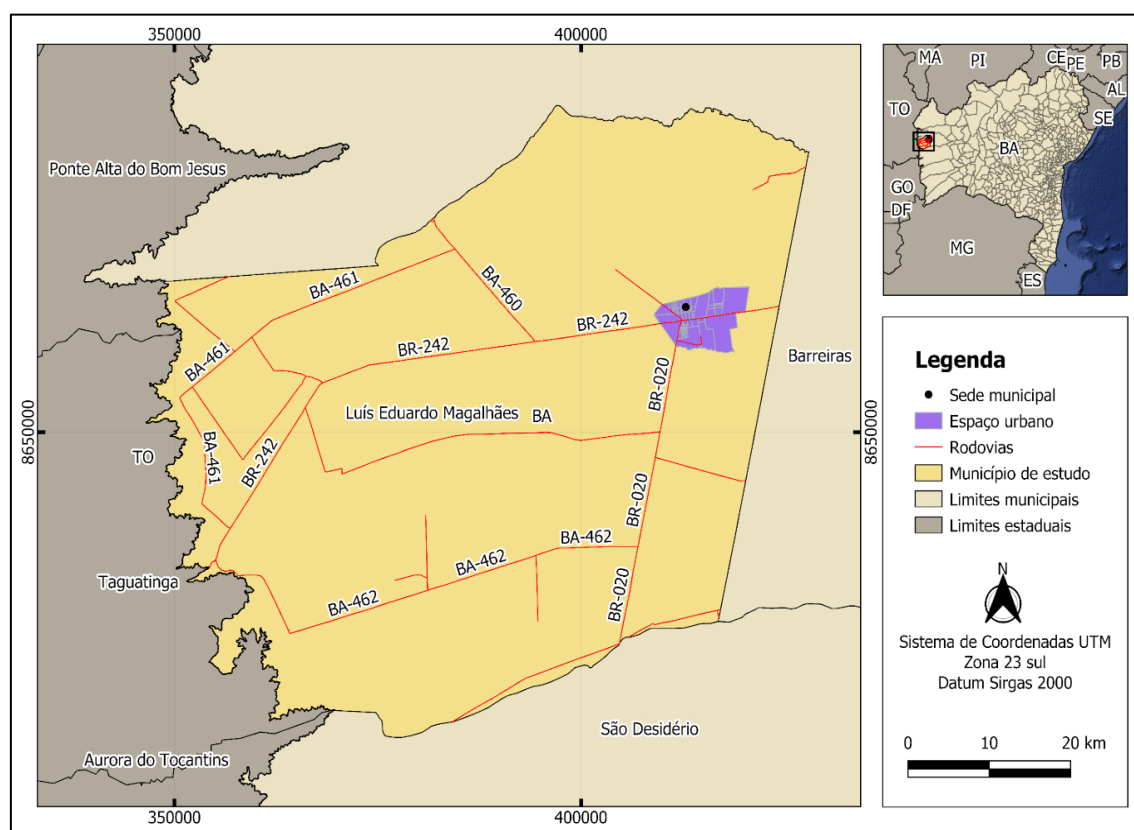
Diante da problemática apresentada, este artigo tem como objetivo identificar áreas mais apropriadas à instalação do aterro sanitário no município de Luís Eduardo Magalhães por meio da análise multicritério com a utilização da metodologia *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Para tanto, a pesquisa buscou verificar a existência de áreas adequadas à instalação do aterro sanitário fora da APA, aplicar a Metodologia AHP visando obter resultado quantitativamente significativo para alocação do empreendimento e utilizar o geoprocessamento como ferramenta pertinente para a identificação dessas áreas na verificação do diagnóstico assertivo.

2. METODOLOGIA

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Luís Eduardo Magalhães se localiza no oeste do estado da Bahia, limita-se com os municípios baianos de Barreiras nas direções norte/leste e com São Desidério ao sul. A oeste limita-se com os municípios do estado do Tocantins, sendo: Aurora do Tocantins, Taguatinga e Ponte Alta do Bom Jesus (Figura 1).


Figura 1 – Localização do município de Luís Eduardo Magalhães no estado da Bahia



Fonte: Elaborado pela autora de acordo com os dados do IBGE.

Possui área territorial de 394.053,70 hectares e uma população estimada em 92.671 habitantes para 2021 (IBGE, 2021). Sua trajetória de expansão populacional e econômica está relacionada com a “produção agroindustrial, devido à inserção e expansão da atividade agrícola mecanizada intensificada a partir da década de 1980” (SANTOS; OLIVEIRA, 2021).

A vegetação do Cerrado compõe a paisagem das áreas de clima tropical quente e seco com chuvas de inverno. As veredas se destacam pela relação que



estabelecem com o regime dos rios e dos solos hidromórficos, além da mata de galeria que acompanha os cursos d'água (EMBRAPA, 2010).

Quanto aos tipos de solos, predominam no município os Latossolos Vermelho-Amarelos, os Neossolos Quartizarênicos e os solos hidromórficos como os Gleissolos Háplicos. No geral, são profundos, possuem baixa fertilidade natural e são permeáveis (EMBRAPA, 2010). A geologia faz parte do Grupo Urucua cujas rochas estão sobrepostas às do Grupo Bambuí, composto por arenitos quartzosos com data estimada de formação no Cretáceo Inferior (AMORIM JÚNIOR; LIMA, 2007). A classificação morfoestrutural é definida como Cobertura Sedimentar São Franciscana onde se destacam os Chapadões com baixa declividade (EMBRAPA, 2010).

2.2. METODOLOGIA AHP

A *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é uma metodologia que auxilia na tomada de decisões complexas e pode ser utilizada em diferentes tipos de estudos a partir da escolha de critérios quantitativos e qualitativos. De acordo com Lima *et al* (2016), sua aplicação é considerada de boa aceitação por parte da academia e a credibilidade da metodologia também se relaciona com a possibilidade de reunir múltiplos requisitos na mesma análise, atribuindo-lhes grau de importância de acordo com a relevância que possuem.

Para Saaty (1990), na aplicação da metodologia AHP, é preciso considerar a relevância na escolha hierárquica dos fatores que serão utilizados. A quantidade de informações deve ser suficiente para permitir um detalhamento do estudo sem torná-lo tão abrangente ao ponto de comprometer a qualidade e, por consequência, a finalidade da tomada de decisão. A ideia central do método é permitir a classificação dos critérios por meio de um sistema de pares comparativos (FONTANIVEA *et al*, 2017). Essa metodologia permite diagnosticar áreas apropriadas para a instalação de empreendimentos urbanos, como é o caso do aterro sanitário.

O método AHP consiste na decomposição da relação entre critérios pré-estabelecidos até alcançar a priorização dos indicadores. Após a hierarquização dos critérios é preciso definir a escala de importância e determinar o vetor de prioridade pela atribuição de valores que devem ser organizados conforme apresenta o Quadro 1, em uma matriz quadrada.

Quadro 1 – Exemplo da Matriz de comparação AHP

	Variável 1	Variável 2	Variável 3	Variável 4
Variável 1	1			
Variável 2		1		
Variável 3			1	
Variável 4				1

Fonte: Elaborado pela autora com base na metodologia AHP proposta por Saaty, 1990.

O valor 1 na diagonal se refere a comparação das mesmas variáveis, os pesos atribuídos na parte inferior do quadro deverão variar de 1 a 9 e a matriz deve ser normalizada para proceder com o cálculo do índice de consistência, que segundo Saaty (1990) é expresso da seguinte forma:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

Em que, o *CI* é o índice de consistência que confere estimativa dos pesos resultantes da matriz, o λ é o máximo autovalor da matriz de decisão associada ao autovetor direito e *n* é o número de critérios avaliados. A tabela 1 distribui os índices de consistência aleatória (RI) com base na proposição de Saaty (1980) para uma matriz de ordem 1 a 10. Neste estudo foram utilizados duas matizes, uma 6x6 e outra 8x8 e os IR atribuídos foram 1,25 e 1,40 respectivamente.

Tabela 1 – Índice de Consistência Aleatória

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: elaborado pela autora de acordo com Saaty, 1980

A verificação da relação de consistência (CR) deve ser feita determinando a razão entre o CI e o índice de consistência aleatória (RI), conforme a expressão:

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.1 \sim 10\%$$

Assim, a consistência da matriz será considerada se a proporção resultante for menor que 10%, situação que confere validação da metodologia.

2.3. VARIÁVEIS E CRITÉRIOS ADOTADOS

A escolha das variáveis adotadas para detecção das áreas que apresentam o menor risco à instalação do aterro sanitário ocorreu com a pesquisa bibliográfica. Alguns autores como Samizava *et al*, 2008; Felicori *et al*, 2016; Pinheiro *et al*, 2018; Gross; Rosset 2011; Lourenço *et al*, 2015, Dutra *et al*, 2019, Machado Junior; Teles,

2016 abordaram a temática considerando aspectos ambientais, normativos, técnicos e econômicos. Contudo, a delimitação das variáveis deve estar atrelada às especificidades do local de estudo. Para o município de LEM foram adotadas nove variáveis restritivas, a saber: declividade, distância do núcleo gerador de RSU, Unidade de Conservação, poços, ferrovias, APP, reserva legal, vegetação nativa e corpos hídricos. As variáveis ponderadas foram: rodovias, núcleos populacionais, tipos de solos, estrutura geológica, rede de drenagem, valor da terra nua (VTN), distância de aeródromos e pistas e vegetação de galeria.

Para proceder com a atribuição dos critérios restritivos e ponderados foi realizada a pesquisa documental considerando as exigências e recomendações contidas na NBR 13.896/97, na Lei nº 12.725/ 2012, na Lei nº 9.985/2000 e na Resolução 428/2010-CONAMA conforme constam nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 – Critérios estabelecidos por variáveis restritivas para detecção da área do aterro sanitário no município de Luís Eduardo Magalhães-BA

Variáveis	Critérios restritivos adotados	Normativas
Declividade	Acima de 30%	NBR 13.896/97
Distância dos Núcleos Populacionais	Abaixo de 500m	NBR 13.896/97
Unidade de Conservação	Área total	Lei nº 9.985/2000/Resolução 428/2010-CONAMA
APP/Vegetação Nativa/Reserva Legal	Área total	NBR 13.896/97
Poços	Abaixo de 200 metros a partir do poço	NBR 13.896/97
Corpos hídricos	Abaixo de 200 metros a partir dos drenos	NBR 13.896/97
Ferrovias	Abaixo de 100 metros a partir das Ferrovias	NBR 13.896/97

Fonte: elaborado pela autora com base na NBR 13.896/97, Lei nº 9.985/2000 e Resolução 428/2010- CONAMA.

Tabela 3 – Critérios estabelecidos por variáveis ponderadas para detecção da área do aterro sanitário no município de Luís Eduardo Magalhães-BA

Variáveis	Critérios ponderados
Rodovias	Buffer de distância mínima de 200 m
Distância dos Núcleos Geradores de RSU	Buffers considerando a restrição da distância superior a 500 m dos núcleos urbanos.
Solos e Geologia	Buffers considerando valores maiores para solos altamente permeáveis e estruturas litológicas menos resistentes.
Corpos hídricos e poços	Distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água.
Valor da Terra Nua (VTN)	Atribuído de acordo com o VTN disponível pela Receita Federal para o ano de 2021.
Aeródromos e pistas (ASA)	Buffer considerando a distância mínima de 8 km de raio.
Vegetação de Galeria	Buffers com distância mínima de 200 m considerando que são áreas próximas aos recursos hídricos.

Fonte: elaborado pela autora com base na NBR 13.896/97, Lei nº 12.725/ 2012 e Resolução CONAMA nº 4/1995.

Após a definição dos critérios foi realizada a pesquisa nos sites oficiais do governo brasileiro para construção do banco de dados com as bases cartográficas necessárias para o processamento dos mapas (Tabela 4).

Tabela 4 - Bases cartográficas utilizadas por variáveis adotadas para detecção da área do aterro sanitário no município de Luís Eduardo Magalhães-BA

Variáveis	Bases cartográficas
Perímetro do município de LEM	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020)
Rodovias	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2020)
Distância do Núcleo Gerador de RSU	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020)
Solos	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021)
Drenagem	Agência Nacional de Água e Saneamento Básico
Geologia	Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2003)
Valor da Terra Nua - VTN	MapBiomias – Coleção 5.0
Aeródromos	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020)
Poços	Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2009)
Declividade	Projeto TOPODATA (INPE, 2011)
Unidade de Conservação	Ministério do Meio Ambiente
Ferrovias	Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2009)
Vegetação de Galeria	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021)
APP/Vegetação Nativa/Reserva Legal	Cadastro Ambiental Rural do município de Luís Eduardo Magalhães (CAR, 2021)

Fonte: elaborado pela autora a partir das pesquisas de dados nas bases cartográficas oficiais.

2.4. PESOS ESTABELECIDOS POR VARIÁVEIS RESTRITIVAS E PONDERADAS

A atribuição dos pesos por variáveis restritivas foi realizada conforme as normativas. Assim, nas situações em que foram identificadas áreas com declividade acima de 30%, área de APP, vegetação nativa, reserva legal e Unidade de Conservação e nas distâncias dos núcleos urbanos em até 500m, das ferrovias em até 100m e dos recursos hídricos e poços em até 200m foi atribuído peso zero (0), aplicando a propriedade do elemento nulo da multiplicação, uma vez que estas áreas não devem ser computadas. Nas demais áreas foi atribuído peso um (1), aplicando a propriedade do elemento neutro da multiplicação para serem contabilizadas na análise. (Tabela 5). Para as variáveis ponderadas, o intervalo de peso variou de 0 a 255, conforme os dados distribuídos na Tabela 6.

Tabela 5 - Pesos adotados por variáveis restritivas para detecção da área do aterro sanitário no município de Luís Eduardo Magalhães-BA

Variáveis	CrITÉRIOS - Classes	Pesos
Declividade	Acima de 30%	0
	Até 30%	1
Distância dos núcleos populacionais	Até 500 m	0
	Acima de 500 m	1
Unidade de Conservação	Dentro do perímetro	0
	Fora do perímetro	1
Recursos hídricos e Distância dos Poços	Até de 200 m	0
	Maior que 200 m	1
Distância das Ferrovias	Até 100m	0
	Maior que 100 m	1
APP/Vegetação nativa/Reserva legal	Dentro do perímetro	0
	Fora do perímetro	1

Fonte: elaborado pela autora com base na NBR 13.896/97, Lei nº 9.985/2000 e Resolução 428/2010-CONAMA.

Tabela 6 – Pesos adotados por variáveis ponderadas para detecção da área do aterro sanitário no município de Luís Eduardo Magalhães-BA

Variáveis	CrITÉRIOS - Classes	Pesos
Distâncias das Rodovias	200 metros	255
	1.000 metros	200
	3.000 metros	160
	5.000 metros	125
	7.000 metros	90
	9.000 metros	55
Distância do Núcleo Gerador de RSU	500 metros	255
	5.000 metros	200
	15.000 metros	150
	30.000 metros	100
	45.000 metros	50
	60.000 metros	25



Variáveis	Critérios - Classes	Pesos
Tipos de Solos	Gleissolo Haplico Distrófico	255
	Neossolo Quartzarênico Órtico	200
	Latossolo Amarelo Distrófico	130
Estrutura Geológica	Depósito de areia e cascalho	255
	Arenito Conglomerático	170
Distância dos corpos hídricos	200 metros	255
	500 metros	200
	1.000 metros	150
	3.000 metros	100
	6.000 metros	50
Valor da Terra Nua (VTN)	Agricultura	255
	Urbano	200
	Rios e lagos	150
	Floresta	100
	Pastagem	50
	Solo exposto	30
Aeródromos e pistas (ASA)	8.000 metros	255
	2.000 metros	150
	4.000 metros	75
Vegetação de Galeria	200 metros	255
	2.000 metros	150
	4.000 metros	75

Fonte: elaborado pela autora a partir das normativas NBR 13.896/97 e Lei nº 12.725/ 2012.

Os pesos foram atribuídos de acordo com o risco apresentado pelas variáveis não restritivas, associado à distância, fragilidade ou resistência da área. Quanto mais próximo dos centros urbanos, rodovias, corpos hídricos, poços e vegetação de galeria o risco de instalação do aterro é alto, portanto, os pesos são maiores. No caso dos solos e da geologia, o grau de risco está associado às fragilidades que as estruturas apresentam, podendo ocorrer infiltração devido a alta permeabilidade e baixa resistência do material rochoso. O peso para o VTN foi atribuído conforme os valores disponíveis no site da Receita Federal para o município de LEM no ano de 2021.

A Lei nº 12.725, de 16 de outubro de 2012, estabelece a definição da Área de Segurança Aeroportuária – ASA a partir do centro geométrico da maior pista do aeródromo com 20 km (vinte quilômetros) de raio e a Resolução CONAMA, nº 4, de 9 de outubro de 1995, considera que essa aplicação deve ser feita para aeródromos que operam de acordo com as regras de voo por instrumento (IFR) enquanto aos demais, aplica-se o raio de 13km. Ainda assim, Lourenço et al (2015) adotaram 8km de raio e afirmam que é comum a flexibilização para delimitar o raio de exclusão do aeródromo, além disso, Gross; Rossete (2011), apontam que não há consenso na aplicação da distância a ser adotada para esta variável. Portanto, neste estudo foi delimitado o raio de 8km seguido dos *buffers* de dois e de quatro mil metros.



2.5. PROCESSAMENTO DOS MAPAS PONDERADOS E RESTRITIVOS

O processamento dos mapas corresponde à execução das etapas práticas de manipulação dos dados da pesquisa no software de geoprocessamento, sendo, portanto, produto dos métodos e técnicas adotados para alcançar os resultados. No QGIS, versão 3.16, foram construídos nove mapas restritivos com os pesos por variáveis. Na primeira etapa, as bases cartográficas foram reprojetadas para a zona UTM 23 Sul, cujo fuso corresponde à localização do município de estudo e recortadas pelo *shapefile* do perímetro. Para gerar o mapa de declividade, foi extraído o declive em porcentagem da imagem SRTM na caixa de ferramenta do QGIS, cujas áreas foram reclassificadas pelos pesos.

Para os mapas de ferrovias, poços, distância do núcleo urbano e corpos hídricos foram construídos os *buffers*, conforme Tabela 5, foi feita a união com o perímetro do município e atribuído os pesos na tabela de atributos do QGIS. O mesmo procedimento foi realizado para os mapas de vegetação nativa, APP, reserva legal e Unidade de Conservação com exceção da criação dos *buffers*. Na sequência todos os mapas foram rasterizados.

A segunda etapa do processamento ocorreu com a reprojeção das bases cartográficas para construção de oito mapas ponderados. Para rodovias, RSU, vegetação de galeria e drenagem foi atribuído os respectivos pesos dos *buffers*, (Tabela 6). Posteriormente realizou-se a união com o perímetro do município, a atribuição dos pesos na tabela de atributos do QGIS e a rasterização. Para os demais mapas foram feitos os mesmos procedimentos, exceto a construção dos *buffers*.

A partir dos oito mapas ponderados foi construído duas matrizes de transição AHP no QGIS, versão 2.18, sendo uma 6x6 e outra 8x8. Em ambas, os maiores pesos foram atribuídos para as variáveis de Geologia e Solo devido a importância dessas estruturas na instalação do aterro. Com o processamento dos pesos das matrizes AHP foram obtidos os valores dos indicadores Lambda Máxima (λ), Índice de Consistência (CI) e Razão de Consistência. Esses dados são importantes para assegurar a validação para a continuidade dos trabalhos. Assim, na Calculadora Raster do QGIS, os mapas ponderados foram multiplicados pelos seus respectivos pesos e pelos mapas restritivos para obtenção dos mapas finais, como apresentam as expressões contidas na Figura 2.

Figura 2 - Expressões utilizadas para classificação das áreas favoráveis à instalação do aterro sanitário no município de Luís Eduardo Magalhães-BA

Matriz 6X6

$$((VTM * p1) + (dreno * p2) + (RSU * p3) + (Rodovia * p4) + (Solo * p5) + (Geologia * p6)) * (declive * Distancia do RSU * UC * poços * ferrovias)$$

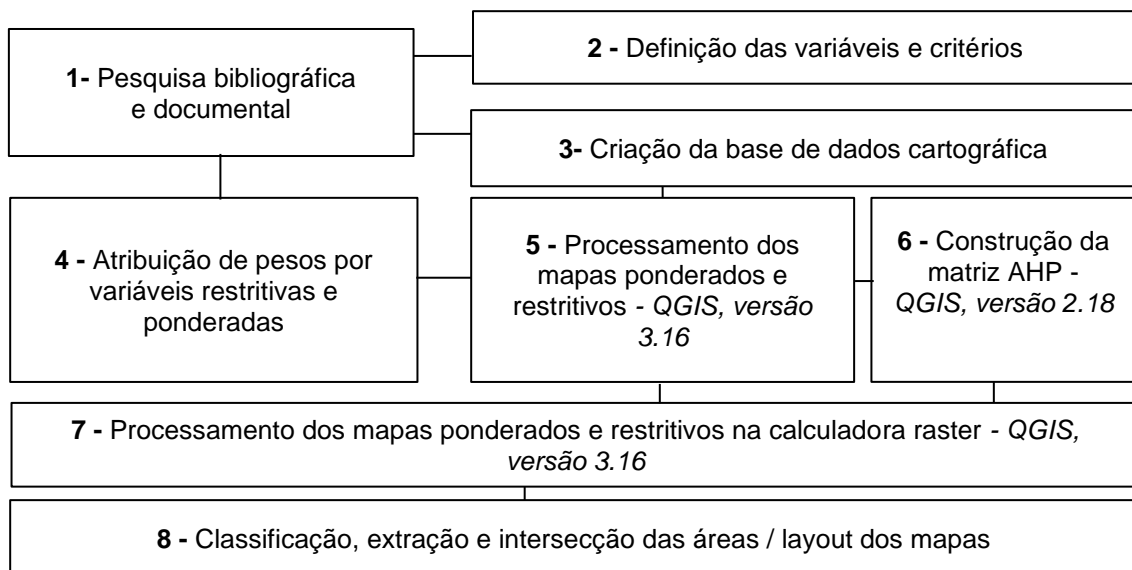
Matriz 8X8

$$((galeria * p1) + (dreno * p2) + (VTN * p3) + (Aeroporto * p4) + (RSU * p5) + (Rodovia * p6) + (Geologia * p7) * (Solo * p8)) * (declive * Distancia do RSU * UC * poços * ferrovias)$$

Fonte: elaborado pela autora para o processamento dos mapas restritivos e ponderados por meio dos dados gerados na Matriz AHP no QGIS, versões 2.18 e 3.16.

Para classificação das áreas mais favoráveis à instalação do aterro os valores dos mapas gerados foram divididos em cinco intervalos de classes, variando de muito baixo risco, baixo risco, médio risco, alto risco a muito alto risco. Após a reclassificação foi extraído as áreas de risco intermediário e realizado a intersecção das matrizes para elaboração dos mapas finais. Todos os procedimentos metodológicos descritos estão apresentados, de forma sucinta, na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos




Fonte: Elaborado pela autora de acordo com os procedimentos da pesquisa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ÁREA DESTINADA À INSTALAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO PELO MUNICÍPIO DE LUÍS EDUARDO MAGALHÃES

Para contextualizar a área destinada à construção do aterro sanitário pelo município de Luís Eduardo Magalhães foi realizada a pesquisa documental.



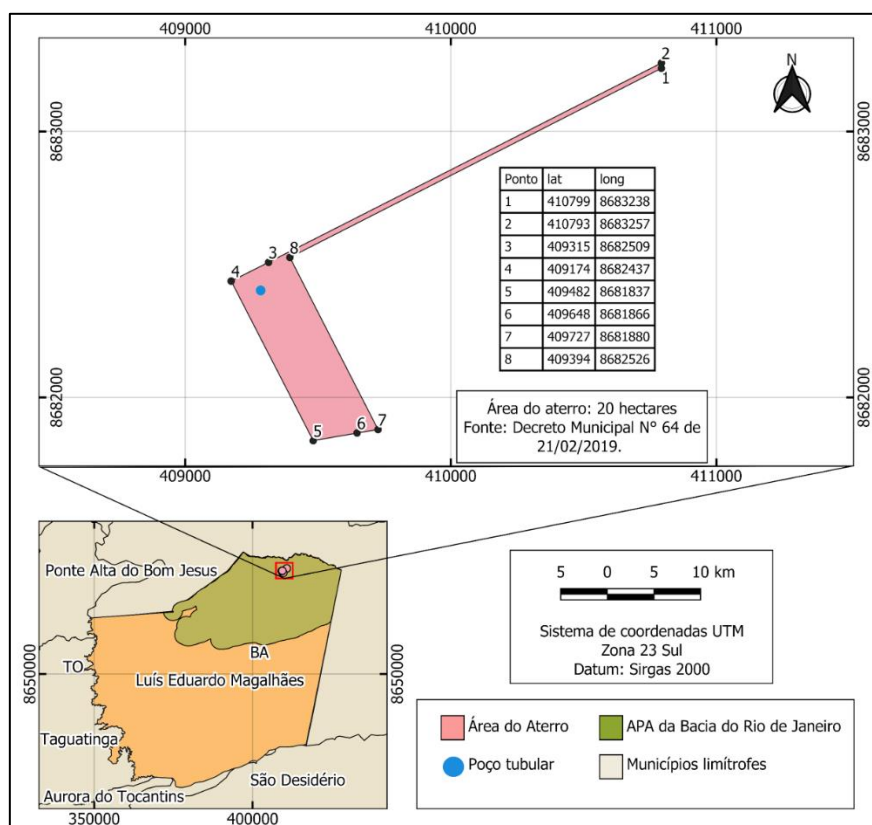
Embasada nas normativas legais a prefeitura elaborou o Plano Municipal de Saneamento Básico por meio da Lei nº 819/2017 de 14 de dezembro de 2017 e, em 2020, o Projeto do Aterro Sanitário. Contudo, a escolha da área para instalação do aterro apresenta algumas questões emblemáticas como, por exemplo, o fato do perímetro estar localizado dentro da Unidade de Conservação da Bacia do Rio de Janeiro, não sendo um local recomendado devido aos riscos associados a esse tipo de instalação.

Conforme consta na Resolução 428/2010-CONAMA o licenciamento para empreendimentos cujo impacto ambiental é significativo só poderá ser concedido pelo órgão responsável pela administração da UC fundamentado no Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) (BRASIL, 2010).

Por meio de pesquisas nas bases de dados do Serviço Geológico Brasileiro foi identificado na área delimitada o registro de um poço tubular que, talvez, se destine ao monitoramento da contaminação do lençol freático. Contudo, a terceira etapa de elaboração do projeto do aterro sanitário do município de LEM contém o memorial descritivo, as especificações e as planilhas orçamentárias (GEOTECHNIQUE, 2020). Nesse documento, a empresa responsável pela construção do projeto do aterro elencou as atividades preliminares que foram realizadas, incluindo a visita para inspeções técnicas. Na distribuição dos registros fotográficos do referido documento está a identificação de um poço artesiano que, segundo consta na descrição, poderá ser utilizado para o abastecimento de água na área administrativa.

As coordenadas contidas no decreto municipal nº 64 de 21 de fevereiro de 2019 que determinou a desapropriação pela declaração de utilidade pública para construção do aterro foram espacializadas na Figura 4.

Figura 4 - Localização da área destinada à construção do aterro sanitário no município de Luís Eduardo Magalhães-BA



Fonte: Elaborado pela autora de acordo com os dados do IBGE e da Prefeitura de Luís Eduardo Magalhães.

De acordo com o Regimento Interno do Conselho Gestor da Apa da Bacia do Rio de Janeiro (INEMA, 2017) uma das suas atribuições, contida no Capítulo II, Artigo 3º do referido documento, corresponde a manifestação acerca de obra ou atividade potencialmente causadora de impacto na Unidade de Conservação. Essa ação é de extrema importância para assegurar o cumprimento do objetivo da sua criação, que consiste em garantir a qualidade ambiental do ecossistema cerrado e a proteção da Bacia do Rio de Janeiro. Contudo, no dia 08 de janeiro de 2020 a prefeitura enviou ao Conselho Gestor da APA o convite para audiência pública sobre o Estudo de Médio Impacto (EMI) do aterro sanitário e, no dia cinco de maio de 2020, por meio do ofício nº 095, a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Economia Solidária informou ao Conselho Gestor da UC que o município recebeu autorização de supressão de vegetação nativa e limpeza de vegetação em área rural, bem como licença prévia e licença de implementação. Este ofício faz menção a portaria nº 02 de 09 de fevereiro de 2012 que em seu Artigo 1º resolve:

Art. 1º - Tornar dispensável a anuência do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação - UC, nas seguintes hipóteses: I - o licenciamento não for considerado de significativo impacto ambiental, com fundamento em Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental - EIA/RIMA; II - estiver localizado fora da sua zona de amortecimento - ZA; III - estiver localizado fora da faixa de 2.000 (dois mil) metros da UC cuja ZA não venha a ser estabelecida até 31 de dezembro de 2015; IV - nos processos de licenciamento ambiental de empreendimentos dentro de Reservas Particulares de Patrimônio Natural - RPPN e Área de Proteção Ambiental - APA (BAHIA, Portaria Conjunta SEMA/INEMA, 2012).

O entendimento, diante do exposto, é que o Conselho Gestor da APA não precisa emitir anuência para instalação do aterro dentro da área da UC. Contudo, o decreto nº 2185/1993 faz menção a fragilidade ambiental, a necessidade de proteção do ecossistema cerrado e a intensa ação antrópica como fatores que justificam a importância da criação da UC. Portanto, estudo visa sugerir áreas para alocação do empreendimento fora da APA como alternativa que pode causar menor impacto e dano socioambiental.

3.2. ANÁLISE DOS DADOS E MAPAS

Os valores atribuídos nas matrizes AHP para cada variável, conforme critérios e procedimentos apresentados na metodologia, estão distribuídos nos Quadros 2 e 3, respectivamente. O processamento resultou nos pesos contidos na Tabela 6.

Quadro 2 - Matriz AHP 6x6 para classificação das áreas favoráveis à instalação do aterro sanitário em Luís Eduardo Magalhães-BA

Variáveis	VTM	Drenagem	RSU	Rodovia	Solo	Geologia
VTN	1	0.333	0.2	0.2	0.2	0.2
Drenagem	3.0	1	0.333	0.333	0.2	0.2
RSU	3.0	3.0	1	0.333	0.333	0.333
Rodovia	5.0	3.0	3.0	1	0.333	0.333
Solo	7.0	5.0	3.0	3.0	1	0.333
Geologia	7.0	3.0	3.0	3.0	3.0	1

Fonte: Matriz AHP elaborada pela autora no QGIS, versão 2.18, a partir dos mapas ponderados.

Quadro 3 - Matriz AHP 8x8 para classificação das áreas favoráveis à instalação do aterro sanitário em Luís Eduardo Magalhães- BA

Variáveis	Galeria	Drenagem	VTN	Aeródromo	RSU	Rodovia	Geologia	Solo
Galeria	1	0.333	0.333	0.333	0.2	0.143	0.143	0.2
Drenagem	3.0	1	0.333	0.333	0.333	0.2	0.2	0.333
VTN	3.0	3.0	1	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333
Aeródromo	3.0	3.0	3.0	1	0.333	0.333	0.333	0.333

RSU	5.0	3.0	3.0	3.0	1	0.333	0.333	0.333
Rodovia	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	1	0.333	0.333
Geologia	7.0	5.0	5.0	3.0	3.0	3.0	1	0.333
Solo	7.0	5.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	1

Fonte: Matriz AHP elaborada no QGIS, versão 2.18, a partir dos mapas ponderados.

Tabela 6 – Pesos gerados na Matriz AHP por variáveis adotadas para identificação das áreas favoráveis à instalação do aterro sanitário no município de Luís Eduardo Magalhães-BA

Matriz 6X6		Matriz 8X8	
Variáveis	Pesos	Variáveis	Pesos
VTN	0.034	Galeria	0.025
Drenagem	0.062	Drenagem	0.043
RSU	0.105	VTN	0.058
Rodovia	0.163	Aeródromo	0.085
Solo	0.260	RSU	0.117
Geologia	0.374	Rodovia	0.149
		Geologia	0.224
		Solo	0.298

Fonte: Elaborado pela autora por meio dos dados gerados na Matriz AHP no QGIS, versão 2.18.

A sequência para cada matriz considerou solos e geologia como as variáveis de maior peso no processo de detecção de áreas favoráveis à instalação do aterro sanitário e a ordem de entrada de cada variável nas matrizes seguiu a lógica da menor para a maior relevância.

Com o processamento dos pesos na matriz AHP foram obtidos os valores dos indicadores Lambda Máxima (λ), Índice de Consistência (CI) e Razão de Consistência que estão distribuídos na Tabela 7. A última etapa do processamento resultou na execução das expressões contidas na Figura 5.

Tabela 7 - Resultado dos indicadores processados nas matrizes AHP

Indicadores	Matriz 6x6	Matriz 8x8
CI	0.082	0.105
CR	0.066	0.074
λ	6.411	8.738

Fonte: elaborado pela autora por meio dos dados gerados na Matriz AHP no QGIS, versão 2.18.

Figura 5 – Expressões utilizadas para gerar os mapas finais das áreas favoráveis à instalação do aterro sanitário do município de Luís Eduardo Magalhães-BA

Matriz 6X6

$$((VTM * 0.034) + (dreno * 0.062) + (RSU * 0.105) + (Rodovia * 0.163) + (Solo * 0.260) + (Geologia * 0.374)) * (declive * Distancia do RSU * UC * poços * ferrovias)$$

Matriz 8X8

$$((galeria * 0.025) + (dreno * 0.043) + (VTN * 0.058) + (Aeroporto * 0.085) + (RSU * 0.117) + (Rodovia * 0.149) + (Geologia * 0.224) * (Solo * 0.298)) * (declive * Distancia do RSU * UC * poços * ferrovias)$$

Fonte: Elaborado pela autora no QGIS, versão 3.16, com os mapas restritivos e ponderados por meio dos dados gerados na Matriz AHP no QGIS, versão 2.18.

Os resultados dos mapas restritivos estão apresentados na Figura 6, sendo: a) declividade, b) ferrovias, c) poços, d) distância do núcleo urbano, e) corpos hídricos, f) vegetação nativa, g) APP, h) reserva legal e i) Unidade de Conservação.

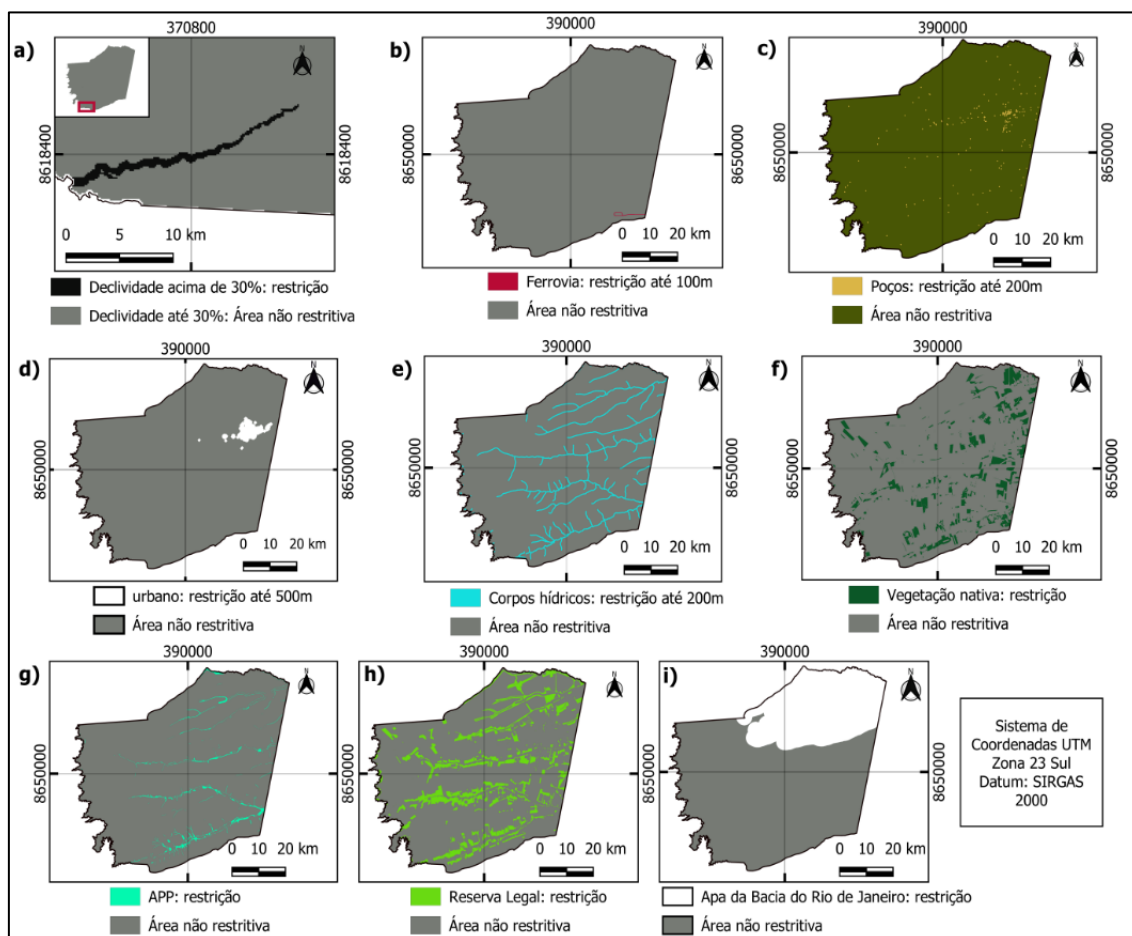
O município apresenta poucas áreas com declividade acima de 30%, as quais correspondem a aproximadamente 166 hectares e estão localizadas na porção sudoeste. Sendo assim, neste estudo esta variável não apresentou destaque na restrição de grandes áreas. O mesmo aconteceu com as ferrovias, cujos registros foram identificados na porção sul-sudeste em um pequeno trecho.

Conforme Andrade e Barbosa (2015, p. 258) a averiguação das águas subterrâneas deve ser realizada para “evitar eventual contaminação dos aquíferos por águas lixivantes geradas nos aterros”. Nesse sentido, foi realizada a restrição com buffers de 200m em 208 poços distribuídos por toda a área do município e com maior concentração nos locais próximos ao espaço urbano. Essa quantidade significativa tem relação com a presença de uma vasta rede de drenagem e a atividade agrícola mecanizada que é desenvolvida em grande escala.

Praticamente toda a área urbana de LEM se encontra dentro da Unidade de Conservação e a concentração populacional está localizada na região mais a nordeste. Os recursos hídricos são abundantes, com rios e córregos classificados como permanentes e cujos buffers gerados restringiram uma área de aproximadamente 2.847 hectares. As áreas de vegetação nativa, reserva legal e app restringiram 39.661, 59.690 e 9.716 hectares respectivamente, contudo, vale

ressaltar que esses valores não podem ser considerados isoladamente, uma vez que, algumas áreas, possuem sobreposição de variáveis na delimitação.

Figura 6 - Mapas restritivos para detecção da área do aterro sanitário no município de Luís Eduardo Magalhães



Fonte: Elaborado pela autora a partir das normativas NBR 13.896/97, Lei nº 9.985/2000 e Resolução 428/2010-CONAMA.

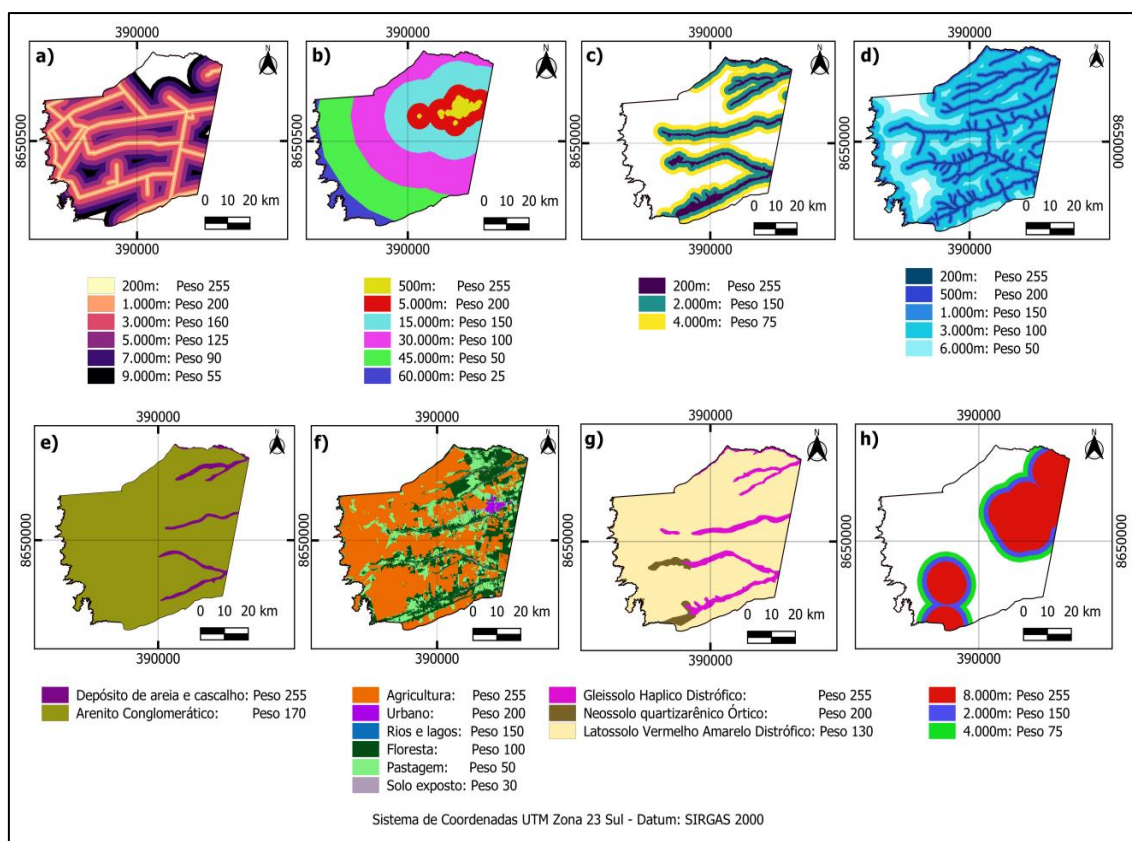
Os resultados dos mapas ponderados estão distribuídos na Figura 7, sendo: a) distância de rodovias, b) distância da fonte geradora de RSU, c) distância da vegetação de galeria, d) distância dos recursos hídricos, e) geologia, f) VTN, g) tipos de solos e h) Aeródromos e pista.

A hierarquia dos pesos seguiu o critério das distâncias, exceto para solos e geologia por que estão associados a resistência destas estruturas à instalação do empreendimento e, VTN, devido o valor econômico da área que será destinada para construção do aterro. A importância da estrutura geológica é enfatizada por Andrade e Barbosa (2015) quando utilizam o mapa de permeabilidade do solo natural como critério de aptidão para instalação do aterro na Ilha do Fogo, República de Cabo Verde.

As áreas apresentam maiores riscos quanto mais próximas estão das rodovias e dos centros urbanos e quanto mais distantes estão destas localidades possuem menos riscos, contudo, maior inviabilidade econômica, técnica e política para implementação. Diferentemente dos corpos hídricos, vegetação de galeria e aeródromos pois, quanto mais se distanciam da área do aterro apresentam menos riscos para o meio ambiente e a população.

O município possui área territorial de 394.053,70 hectares, destes, 114.991,27 hectares estão na UC, o que corresponde a 32,47% do total, restando 279.062,43 hectares, o equivalente a 67,53% da área do município. Assim, os dados apresentados em porcentagem foram calculados considerando a quantidade de terra disponível, excetuando o perímetro da APA.

Figura 7 - Mapas ponderados para detecção da área do aterro sanitário no município de Luís Eduardo Magalhães- Ba



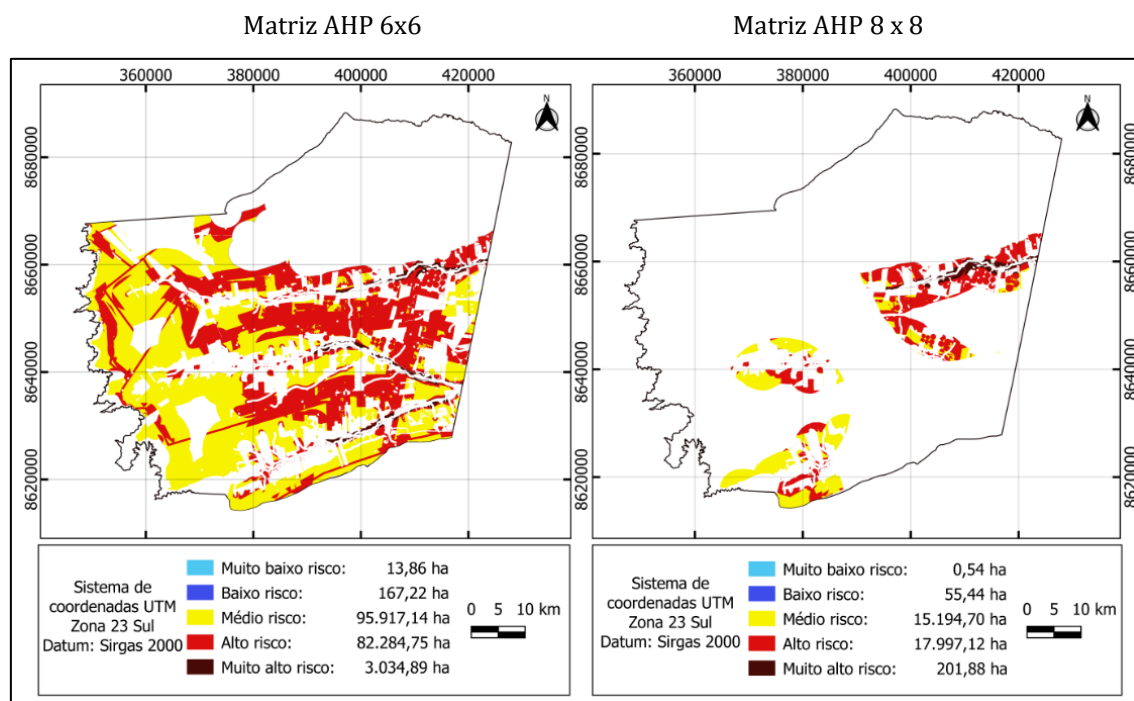
Fonte: Elaborado pela autora a partir das normativas NBR 13.896/97 e Lei nº 12.725/ 2012.

A Figura 8 apresenta os mapas finais das matrizes 6x6 e 8x8. O primeiro resultou em 95.917, 14 hectares (34,37%) classificados como médio risco para instalação do aterro em comparação com a matriz 8X8 que identificou 15.194,70 hectares (5,45%) nessa mesma classificação. A quantidade de critérios utilizados

resultou na diferença de área disponível em cada matriz. Na 6x6, embora as áreas de muito baixo (13,86 ha / 0,004966%) e baixo risco (167,22 ha / 0,06%) totalizam 181,08 hectares (0,064%) elas não se distribuem de forma concentrada, portanto, não dispõem de quantidade necessária para possível instalação do aterro. Na matriz 8X8 ocorre a mesma situação, com 0,54 e 55,44 hectares classificados como muito baixo e baixo risco, respectivamente. Assim, estas áreas foram adicionadas às de médio risco em ambas as matrizes, totalizando 96.098,22 ha (34,43%) e 15.250,68 ha (5,46%), como apresenta a Figura 9.

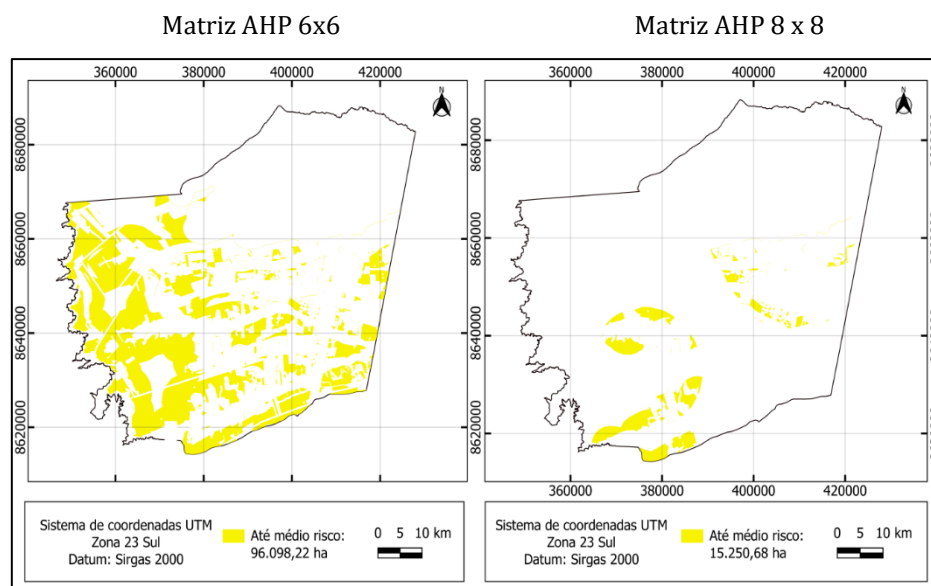
Estes resultados indicam que o município de LEM possui quantidade significativa de áreas favoráveis à instalação do aterro sanitário fora da UC. Contudo, Portella; Ribeiro (2014) afirmam que a vida útil de um aterro é limitada e a dificuldade de encontrar nova áreas com proximidade relativa dos centros urbanos é um implicador no processo de seleção. Portanto, o local de implementação deve ser estrategicamente escolhido para permitir a continuidade das atividades no aterro de acordo com o crescimento populacional e o aumento na produção de resíduos sólidos em um período de tempo de, no mínimo, 10 anos.

Figura 8 - Resultado da análise multicritério por risco de instalação do aterro sanitário no município de Luís Eduardo Magalhães



Elaboração: Construído pela autora a partir das normativas NBR 13.896/97, Lei nº 9.985/2000, Lei nº 12.725/ 2012 e Resolução 428/2010-CONAMA.

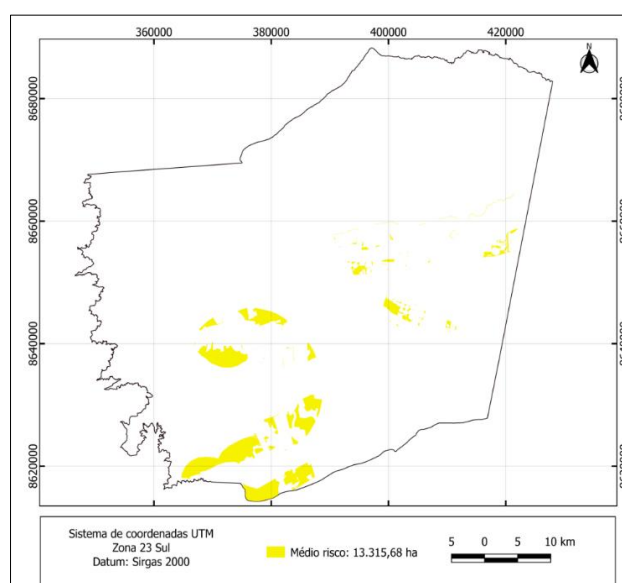
Figura 9 - Extração das áreas de baixo a médio risco da análise multicritério para instalação do aterro sanitário no município de Luís Eduardo Magalhães



Elaboração: Construído pela autora a partir das normativas NBR 13.896/97, Lei nº 9.985/2000, Lei nº 12.725/ 2012 e Resolução 428/2010-CONAMA.

Para identificação das melhores áreas que podem ser utilizadas para construção do aterro, a Figura 10 apresenta a interseção das matrizes 6x6 e 8x8. São 13.315,68 hectares (4,77%) com médio risco de instalação. O cruzamento dessas matrizes permitiu assegurar maior precisão para a detecção das áreas, uma vez que os pesos atribuídos para algumas variáveis foram diferentes e a relação entre eles também variou devido a hierarquia que foi construída.

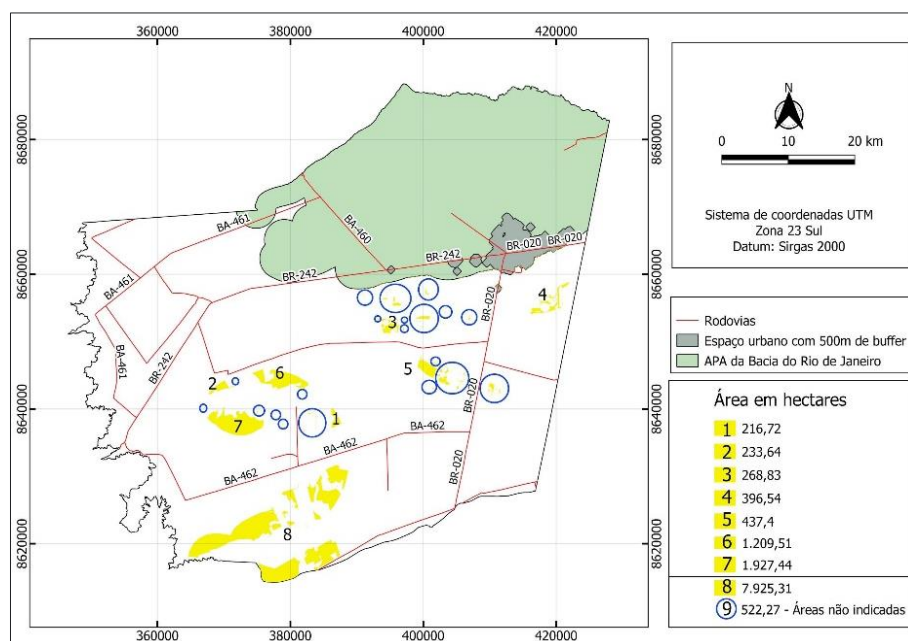
Figura 10 - Intersecção das áreas classificadas de baixo a médio risco entre as matrizes 6x6 e 8x8 para instalação do aterro sanitário no município de Luís Eduardo Magalhães



Elaboração: Construído pela autora a partir das normativas NBR 13.896/97, Lei nº 9.985/2000, Lei nº 12.725/ 2012 e Resolução 428/2010-CONAMA

A Figura 11 apresenta uma sequência ordenada de 1 a 9 para as áreas que foram representadas na Figura 10. Os critérios de tamanho e localização foram os principais requisitos dessa organização que resultou na sugestão de sete opções mais favoráveis para instalação do aterro, considerando a distância intermediária dos núcleos urbanos e das rodovias.


Figura 11 - Sugestões de áreas para instalação do aterro sanitário no município de Luís Eduardo Magalhães



Elaboração: Construído pela autora a partir das normativas NBR 13.896/97, Lei nº 9.985/2000, Lei nº 12.725/ 2012 e Resolução 428/2010-CONAMA.

As áreas localizadas no extremo sul do município (número 8 no mapa), embora apresentem médio risco e quantidade significativa em hectares (7.925,31), não são consideradas favoráveis para a instalação do aterro por que podem encarecer os custos com o transporte e a manutenção dos materiais devido à distância dos núcleos urbanos e das rodovias (ANDRADE; BARBOSA, 2015). Já as áreas identificadas com o número 9 (522,27 hectares) não estão concentradas e, por isso, não dispõem de área suficiente para a instalação do aterro. +

É importante salientar que as áreas classificadas em muito baixo ou baixo risco não possuem perímetro suficiente para atender a necessidade do município quanto a sua utilização, situação que aponta para a dificuldade de encontrar locais sem nenhuma ou pouquíssimas restrições para a instalação de um empreendimento que pode apresentar diversos danos à sociedade, principalmente nos aspectos socioeconômicos e ambientais.



As áreas de 1 a 7 foram numeradas conforme a quantidade e por serem as melhores opções, pois, possuem localização intermediária em relação as rodovias e ao centro urbano.

Contudo, para definição da área de instalação pelo município; recomenda-se a realização de visitas *in loco* que permitam averiguar os elementos existentes em cada área, analisando vantagens e desvantagens apresentadas por cada uma, selecionando assim qual área possui as melhores condições para a instalação do aterro.


4. CONCLUSÃO

O resultado desta pesquisa indicou que o município de Luís Eduardo Magalhães dispõe de 7 áreas distribuídas na sua porção central classificadas como médio risco para instalação do aterro sanitário. Os valores destas áreas em hectares e suas respectivas porcentagens correspondem a: 216,72 (0,077%); 233,64 (0,083%); 268,83 (0,096%); 396,54 (0,142%); 437,4 (0,156%); 1.209,51 (0,433%) e 1.927,44 (0,475%) Todas estão localizadas fora da APA e possuem extensão significativa para a implementação do empreendimento, situação que comprova o alcance dos objetivos que foram explicitados na problemática apresentada na introdução deste artigo.

A aplicação da Metodologia AHP com o uso do geoprocessamento se mostrou adequada para prover um diagnóstico assertivo que resultou em dados e informações importantes para auxiliar a gestão pública na tomada de decisão acerca da instalação do aterro.

REFERÊNCIAS

- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.896: **Aterros de resíduos não perigosos**: Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- AMORIM JÚNIOR, V., LIMA. O. A. L. Avaliação hidrogeológica do aquífero Urucuia na bacia do rio das Fêmeas - BA usando resistividade e polarização elétrica induzida. Revista Brasileira de Geografia, v. 25, n. 2, São Paulo, 2007.
- ANDRADE, Alex Jailson Barbosa; BARBOSA, Nelcy Paulo Pina. Combinação do método AHP e SIG na seleção de áreas com potenciais para a instalação de aterro sanitário: caso da Ilha do Fogo, na República de Cabo Verde. **Revista de Geografia** (UFPE) V. 32, No. 2, 2015.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020.** Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>> Acesso em: 27 de Set. 2021.

BAHIA. **Lei Estadual nº 11.172, de 01 de dezembro de 2008.** Institui princípios e diretrizes da Política Estadual de Saneamento Básico. Diário Oficial, Poder Executivo, Salvador- BA, 2008.

BAHIA, **Portaria Conjunta SEMA/INEMA nº 02, de 09 de fevereiro de 2012.** Salvador-Ba, publicada em 10 de fevereiro de 2012. Disponível em: <<http://www.seia.ba.gov.br/legislacao-ambiental/portarias>> Acesso em: 03. Dez. 2021.

BRASIL, **Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010.** Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Brasília, 2010.

BRASIL, **Lei Estadual nº 10.431, de 20 de dezembro de 2006.** Institui a Política Estadual de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade do Estado da Bahia. Salvador, 2006.

BRASIL, **Lei Estadual nº 12.932, de 07 de janeiro de 2014.** Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos. Salvador, 2014.

BRASIL, **LEI nº 11.172, de 01 de dezembro de 2008.** Institui princípios e diretrizes da Política Estadual de Saneamento Básico, disciplina o convênio de cooperação entre entes federados para autorizar a gestão associada de serviços públicos de saneamento básico e dá outras providências. Brasília, 2008.

BRASIL. **Decreto nº 64, de 21 de fevereiro de 2019.** Altera o Decreto nº 272, de 5 de novembro de 2018, que declarou de utilidade pública, para fins de desapropriação, imóvel destinado à implantação do Aterro Sanitário Disponível em: <<http://luiseduardomagalhaes.ba.io.org.br/diarioOficial/download/469/1002/0>>. Acesso em: 23 de Nov. 2021.

BRASIL. **Lei n.º 819, de 14 de dezembro de 2017.** Aprova o Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Luís Eduardo Magalhães-Ba. Disponível em: <<http://luiseduardomagalhaes.ba.io.org.br/diarioOficial/download/469/507/0>>. Acesso: 15. Out. 2021.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010.

BRASIL. **Lei nº 12.725, de 16 de outubro de 2012.** Dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos. Brasília, 2012.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília, 2020.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, 2000.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 428, de 17 de dezembro de 2010.** Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC). Publicação DOU nº 242, de 20/12/2010, pág. 805.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 4, de 9 de outubro de 1995.** Estabelece as Áreas de Segurança Portuária – ASAs. Publicada no DOU no 236, de 11 de dezembro de 1995, Seção 1, página 20388.

DUTRA, Débora Joana, et al. Seleção de área para construção de aterro sanitário no município de Esmeraldas, MG, a partir da utilização de ferramentas de Geoprocessamento. **Rev. Geogr. Acadêmica** v.13, n.2 (2019).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** 288. Caracterização Geomorfológica do município de Luís Eduardo Magalhães, oeste baiano, 1:100.000. Kássia Batista de Castro et all. Planaltina: EMBRAPA, 2010.

FELICORI, Thaís de Carvalho. Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais. **Eng Sanit Ambient** | v.21 n.3 | jul/set 2016 | 547-560.

FONTANIVEA, Fernanda et al. Aplicação do Método de Análise Multicriterial AHP como Ferramenta de Apoio a Tomada de Decisão. Revista **ESPACIOS**.Vol. 38 (Nº 19), 2017.

GROSS, Michele Scapini; ROSSETE. Amintas Nazareth. Seleção de Áreas para instalação de aterro sanitário, utilizando-se Geoprocessamento, no município de Nova Xavantina, MT. **GEOGRAFIA**, Rio Claro, v. 36, n. 3, p. 623-639, set./dez. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - **Censo 2010.** Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=6>>. Acesso: 18. Out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - **IBGE Cidades** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/luis-eduardo-magalhaes/historico>>. Acesso em: 09.Out. 2021.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – INEMA. **Regimento Interno da APA da Bacia do Rio de Janeiro.** 2017. Disponível em: <<http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/unidades-de-conservacao/apa/apa-bacia-do-rio-de-janeiro/regimento-interno>>. Acesso em 01. Nov. 2021.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – INEMA. Disponível em: <<http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2011/09/DECRETO-Nº-2185-DE-07-DE-JUNHO-DE-1993-Bacia-do-Rio-de-Janeiro.pdf>> **Decreto nº 2185 de 07 de junho de 1993.** Disponível em: <<http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2011/09/DECRETO-Nº-2185-DE-07-DE-JUNHO-DE-1993-Bacia-do-Rio-de-Janeiro.pdf>> Acesso em: 13. Dez. 2021.



- LIMA, Leonardo Parma; RODRIGUES, Eduardo Sá Fortes Leitão; GUIDUCCI, Aline Aparecida. Utilização do método Analytic Hierarchy Process (AHP) para o processo de seleção de pessoal. **Revista Científica Fagoc** Multidisciplinar - Volume I, 2016.
- LOURENÇO, Roberto Wagner; SILVA, Darllan Collins da Cunha; SALES, Jomil Costa Abreu; MEDEIROS, Gerson Araujo de; OTERO, Rafael Arosa Prol; Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37 n. 4 set-dez. 2015, p. 122-140. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM.
- MACHADO JUNIOR; TELES. Os possíveis impactos ambientais causados pela construção do Aterro Sanitário de Samambaia/DF em Área De Preservação Permanente. In **Direito e sustentabilidade I** (Org). CONPEDI/UnB/UCB/IDP/UDF. Florianópolis: CONPEDI, 2016.
- PINHEIRO, Mayara Maezano Fanta; OSCO, Lucas Prado; GONÇALVES, Tatiana Sussel; RAMOS, Ana Paula Marques. Critérios para identificação de áreas para implantação de aterro sanitário. **Colloquium Exactarum**, v. 10, n.3, Jul-Set. 2018, p. 23 –37.
- PORTELLA, Márcio Oliveira. RIBEIRO, José Cláudio Junqueira. Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos. **Revista Direito Ambiental e sociedade**, v. 4, n. 1, 2014, p. 115-134.
- Prefeitura Municipal de Luís Eduardo Magalhães. **Decreto nº 64/2019, de 21 de fevereiro de 2019**. Altera o Decreto nº 272, de 5 de novembro de 2018, que declarou de utilidade pública, para fins de desapropriação, imóvel destinado à implantação do Aterro Sanitário. Disponível em: <<http://luiseduardomagalhaes.ba.io.org.br/diarioOficial/download/469/1002/0>> Acesso: 15.Out. 2021.
- SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal**, North Holland, n. 9, p. 9-26, 1990.
- SAATY, T. L. The **Analytic Hierarchy Process**. EUA, Nova Iorque- McGraw-Hill, 1980.
- SAMIZAVA, Tiago Matsuo; KAIDA, Rodrigo Hiroshi; IMAI, Nilton Nobuhiro; NUNES, João Osvaldo Rodrigues. SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente – SP. **Revista Brasileira de Cartografia** N. 60/01, Abril, 2008.
- SANTOS, Joelia Silva dos; OLIVEIRA, Matheus Silva de. Inserção e Expansão do Agronegócio no Oeste da Bahia: A (re)produção das desigualdades no Território de Identidade da Bacia do Rio Grande-Bahia, no decênio 2000-2010. **Ágora** (St. Cruz Sul, Online), v.23, n.2, p. 173-188, julho-agosto, 2021.
- SANTOS, Milton. **A Urbanização Brasileira**. São Paulo: Hucitec, 1993.



CAPÍTULO V

MAPEAMENTO DIGITAL: ESTUDO ESPAÇO TEMPORAL DAS ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DEL-REI-MG

DOI: 10.51859/ampla.aca955.1122-5

José Geraldo Rodrigues Fernandes

Discente do Curso de Especialização em Geoprocessamento
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM
jofer.br@gmail.com

Nayane Lopes Nascimento

Discente do Curso de Especialização em Geoprocessamento
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM
nayane.lopesnasct@gmail.com

Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Professora Doutora em Agronomia
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM
mayte@iftm.edu.br

Fausto Antônio Domingos Junior

Professor Doutor em Agronomia
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM
fausto@iftm.edu.br

Claudio Marcio de Castro

Professor Doutor em Química
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM
claudiomarcio@iftm.edu.br





RESUMO

No Brasil, o processo de urbanização se intensificou a partir de 1950. As aglomerações nos centros urbanizados, somada à ineficiência do poder público em gerenciar o crescimento populacional, resultam na ocupação de áreas indevidas, como margens de rios, mangues, encostas, etc, o que influencia na dinâmica econômica e consequentemente no uso e ocupação do solo. A pesquisa teve por objetivo mapear as alterações no uso e ocupação do solo no município de São João del-Rei/ MG para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2019 com base nas imagens do projeto MapBiomias coleção 5.0, aliadas ao geoprocessamento no SIG *open source* QGis com a ferramenta MOLUSCE. A ferramenta possibilitou a visualização das alterações ocorridas, gerando matrizes e mapas de transição referente ao intervalo dos 31 anos de análise. Claramente as modificações ocorridas no uso e ocupação do solo no município de São João del-Rei no intervalo dos 31 anos analisados, entre os anos de 1988 a 2019, revela uma predominância no uso de pastagens que começou acima de 39% e no final da análise terminou com 27,43%, perdendo espaço para o reflorestamento 9,71% e agricultura 6,64%, agricultura que teve o maior crescimento relevante em pontos percentuais. A mata nativa praticamente não houve mudanças expressivas, mas foi um ponto positivo na preservação dos recursos naturais e biodiversidade onde é predominante. Foi possível verificar a degradação da mata ciliar no leito dos rios e supressão de algumas nascentes segundo imagens de satélites, dado que a análise não foi levantada *in loco*. A economia crescente do município, devido ao avanço populacional e a necessidade de estruturas, como comércio, turismo, agronegócio, entre outras, influenciaram diretamente no consumo dos recursos naturais. Espera-se que este estudo sirva de referência para tomada de decisões pelos administradores do município de São João Del-Rei.

Palavras-chave: Plugin Molusce. Ocupação espacial. SIG. QGis.

DIGITAL MAPPING: TEMPORAL SPACE STUDY OF CHANGES IN USE AND OCCUPATION OF SOIL IN THE MUNICIPALITY OF SÃO JOÃO DEL-REI- MG

ABSTRACT

In Brazil, the urbanization process intensified from 1950 onwards. The agglomerations in urbanized centers, added to the inefficiency of the government in managing population growth, result in the occupation of inappropriate areas, such as riverbanks, mangroves, slopes, etc., what influences the economic dynamics and consequently the use and occupation of the land. The research aimed to map the changes in land use and occupation in the city of São João del-Rei/MG for the years 1988, 1998, 2008 and 2019 based on images from the MapBiomias collection 5.0 project, combined with geoprocessing in GIS open source QGis with the MOLUSCE tool. The tool made it possible to visualize the changes that had occurred, generating matrices and transition maps referring to the interval of 31 years of analysis. Clearly the changes that occurred in the use and occupation of land in the city of São João del-Rei in the period of the 31 years analyzed, between the years 1988 to 2019, reveal a predominance in the use of pastures that started above 39% and at the end of The analysis ended with 27.43%, losing space to reforestation 9.71% and agriculture 6.64%, agriculture that had the highest relevant growth in percentage points. The native forest practically did not change significantly, but it was a positive point in the preservation of natural resources and biodiversity where it is predominant. It was possible to verify the degradation of the riparian forest in the riverbeds and the suppression of some springs according to satellite images, as the analysis was not carried out *in loco*. The city's growing economy, due to population growth and the need for structures such as commerce, tourism, agribusiness, among others, directly influenced the consumption of natural resources. It is hoped that this study will serve as a reference for decision-making by administrators in the municipality of São João Del-Rei.

Keywords: Plugin Molusce. Space occupation. SIG. Qgis



1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento acelerado do mundo cada vez mais capitalista e urbanizado, somado ao crescente uso de recursos naturais, principalmente a partir da revolução industrial nos séculos XVIII e XIX, a necessidade de cuidados, planejamentos e atitudes de preservação com a natureza e seu meio, se tornou de extrema importância atualmente. No Brasil, houve a intensificação do processo de urbanização e ocupação do solo a partir do ano de 1950 (DEAK, 1999).

O Estado de Minas Gerais, tem como característica a presença predominante de cidades com menos de 100 mil habitantes, as quais representam 50,3% da população do estado (IBGE, 2010). Ainda que a realidade de cidades de menor porte seja diferente da de grandes cidades, planejamento e organização no uso e ocupação do solo são importantes para a sustentabilidade das bacias hidrográficas, uma vez que são essenciais para a manutenção da biodiversidade, geração de energia, abastecimento dos municípios ao entorno, uso industrial, recreação, práticas agrícolas e turísticas dentre outras.

A retirada da vegetação original para fins agrícolas e construções urbanas, além de intensificar os processos erosivos, pode causar o assoreamento dos corpos hídricos, ou até mesmo alterar o curso natural dos rios e comprometer toda biodiversidade, por causa do avanço das sociedades urbanas (ARAÚJO SANTOS, 2012).

A bacia hidrográfica, cuja extensão territorial contém diversos municípios, torna a gestão complexa, devido à ausência de integração no que se refere a medidas mitigadoras conjuntas que contribuam com a gestão integrada da bacia. As bacias desempenham um importante papel nos moldes da ocupação territorial dentro de suas respectivas áreas de abrangência, uma vez que definem diferentes padrões de drenagem que podem caracterizar-se numa unidade territorial facilitadora das atividades desenvolvidas pelas sociedades locais ou, ao contrário, combinar ações que comprometem certos tipos de ocupação. (ROCHA, VIANNA, 2008)

O manejo e uso errôneo das nascentes, córregos e rios por parte dos municípios podem prejudicar os cursos d'água, comprometendo todo o caminho dela até sua foz, independentemente do tamanho do município. Por isso, estudos que visam à preservação e planejamento das bacias são de extrema importância,



pois permitem conhecer com mais detalhes a relação entre as partes e o todo (POSSÂ, VENTORINI, 2015).

Por isso, a análise espaço temporal do uso e ocupação do solo para compreender como ocorreram as mudanças das cidades consideradas pequenas e/ou médias dentro da área de uma Bacia Hidrográfica, pode resultar em subsídios para planejamento e gestão dos espaços urbanos e rurais. Neste contexto, a elaboração do mapeamento das mudanças ocorridas no município de estudo, possibilita estudar como o uso da terra alterou-se ao longo dos anos e analisar como essas alterações podem impactar a bacia.

No início dos anos 1970, o computador pessoal ganhou destaque nas representações da realidade urbana, e com os avanços tecnológicos da computação gráfica, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) entraram em cena nos estudos ambientais. Inicialmente, os SIG representavam a realidade através de camadas em ambientes computacionais. Permitia assim, a criação, armazenamento, visualização e manipulação das informações geográficas (ALMEIDA, 2007).

Almeida (2007) afirma que nos tempos mais atuais, os SIG passaram a atuar de forma marcante nas problemáticas do meio urbano, principalmente com o surgimento paralelo das imagens de satélite com alta resolução espacial. Hoje em dia, estes sistemas evoluíram e se tornaram plataformas com alta capacidade de explorar a complexidade dos problemas socioambientais. O avanço tecnológico permitiu o surgimento de novas metodologias capazes de fornecer representações e possibilitar análises da realidade por meio de Modelos Espaciais, onde os fatores influenciam nos fenômenos/situações gerando um sistema integrado. (ALMEIDA, 2007)

Muitas cidades ainda não adotaram efetivamente essas técnicas em seus sistemas de gestões devido a fatores como: falta de recursos financeiros nas prefeituras para adotar esta tecnologia, falta de capacitação técnica profissional do corpo de funcionários responsáveis pela gestão do município e o desconhecimento ou a falta de consciência do que seja geoprocessamento (CARVALHO; LEITE, 2009).

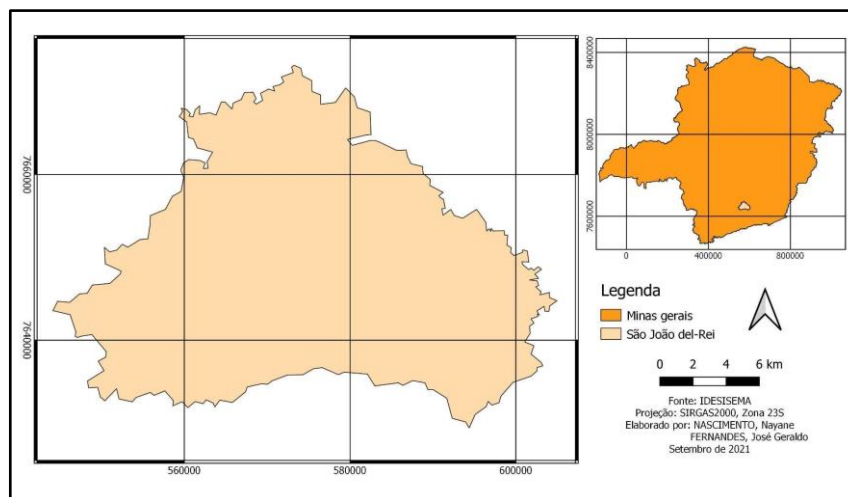
Tendo em vista a aplicabilidade dos SIG's, este estudo apresenta uma análise das mudanças no uso e ocupação do solo, ocorridas no município de São João del-Rei-MG, em relação ao uso e ocupação do solo para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2019 e os impactos destas mudanças na hidrografia local com foco em 2019 através do SIG *open source* QGis.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

O município de estudo, São João del-Rei, está localizado na mesorregião dos Campos das Vertentes, na porção centro - sul do estado de Minas Gerais entre as coordenadas geográficas 21°0'S a 21°30'S e 44°35'W a 44°0'W. Os municípios limítrofes são, ao norte Ritápolis, Coronel Xavier Chaves, Tiradentes e Santa Cruz de Minas, ao leste Prados, Barbacena e Ibertyoga, ao sul Piedade do Rio Grande, Madre de Deus de Minas e Carrancas, a oeste Nazareno e Conceição da Barra de Minas. Sua área é de 1.452,002km² e o número de habitantes, segundo o Censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE do ano de 2010, é de 84.469 pessoas (IBGE, 2010). O município tem por características geomorfológicas um relevo com topo convexo, alta densidade de drenagem, pertencente ao Planalto dos Campos das Vertentes. O solo predominante no município é o cambissolo, e tem por característica a predominância de área de pastagem em seu uso e ocupação do solo. O clima é classificado em tropical de altitude, e a temperatura varia de 14,2 a média mínima e 26,3 a média máxima (SISEMA,2019) mostrado na Figura 1.


Figura 1 – Localização do Município de São João del-Rei, MG



Fonte: Elaborado pelos autores de acordo com os dados do IBGE e da Prefeitura Municipal de São João Del-Rey 2021.

2.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa tem como base principal as imagens de classificação do uso do solo adquiridas no Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomass), que utiliza classificadores automatizados para o



processamento das imagens de forma rápida, assertiva e atualizada. As imagens podem ser obtidas de forma gratuita pela plataforma do MapBiomas em parceria com o Google Earth Engine - GEE. O propósito do projeto é disponibilizar a classificação do uso e ocupação do solo de 1985 até os dias atuais sendo atualizadas anualmente possibilitando assim, a geração de mapa de mudanças com alta precisão de informações (MapBiomas, 2018). Para o estudo em questão, de 1988 a 2019, foi utilizadas imagens do MapBiomas coleção 5.0 com resolução espacial de 30 m.

Os principais procedimentos metodológicos adotados para avaliação das mudanças no uso e ocupação do solo no município de São João del-Rei foram realizados no ambiente SIG, através do *software open source* QGis, na versão 2.18 e 3.16.

Primeiramente foi realizado o download das imagens de classificação do solo no Projeto MapBiomas para o estado de Minas Gerais nos anos de 1988, 1998, 2008 e 2019. Após a obtenção das imagens foi realizado o recorte para o município de estudo, através da ferramenta “recortar” disponível na “Caixa de Ferramenta de Processamento” no ambiente QGis versão 3.16. Para realizar o recorte foi necessário obter o arquivo Shapefile-SHP com a delimitação do município, neste caso o SHP foi adquirido gratuitamente no *WebGis* IDE Sisema.

A escolha temporal da análise das imagens foi definida em 4 cenários para serem analisadas em pares, além de proporcionar uma melhor análise da dinâmica das mudanças ocorridas no município de São João Del-Rei, Minas Gerais.

Após realizar o recorte das imagens, foi realizada a análise da legenda pré-definida do MapBiomas para uma reclassificação que representasse melhor a realidade do município, neste sentido algumas classes foram agrupadas. A reclassificação foi feita na tabela de atributos com a inserção de uma nova coluna, onde foi inserida uma nova legenda numérica, também no ambiente QGis versão 3.16. A figura 2 ilustra a reclassificação de legenda realizada a partir das classes pré-definidas do MapBiomas.

Figura 2 – Reclassificação da legenda do MapBiomias

1.1.1. Formação Florestal	3	1	Floresta Nativa
1.1.2. Formação Savânica	4		
1.2. Floresta Plantada	9	2	Floresta Plantada
3.1. Pastagem	15	3	Pastagem
3.3. Mosaico de Agricultura e Pastagem	21		
3.2.1.3. Outras Lavouras Temporárias	41	4	Agricultura
3.2.2. Lavoura Perene	36		
3.2.1.1. Soja	39		
4.4. Outras Áreas não Vegetadas	25	5	Area não Vegetada
4.2. Infraestrutura Urbana	24	6	Area Urbanizada



Fonte: Adaptado de Legenda, MapBiomias Coleção 5.0, adaptado

Com as imagens referente aos quatro cenários de análise já recortadas e reclassificadas, realizou-se os procedimentos no *plugin* MOLUSCE, disponível na versão 2.18 do SIG QGis. O *plugin* MOLUSCE (*Modules for Land Use Change Evaluation*) foi desenvolvido pela NextGIS em convênio com a Asia Air Survey Co., Ltd. (AAS), sua criação teve por intenção a análise, modelagem e simulação de mudanças no uso e ocupação da terra. A utilização do MOLUSCE consiste na fase de entrada de dados, na avaliação de semelhanças/variação de área, escolha dos métodos de modelagem e validação. Na fase de entrada de dados, é possível adicionar mapas de classificação de uso e ocupação do solo de diferentes épocas, sendo analisados em pares. Na fase de avaliação de semelhanças/variação de área o *plugin* calcula estas informações, produzindo uma matriz de transição, além de gerar mapas com as alterações encontradas (FERREIRA; FERREIRA, 2018).

Com a matriz de transição e o mapa final gerado no QGis versão 2.18, foi necessário fazer uma nova reclassificação da legenda, a fim de destacar as mudanças ocorridas no município de estudo. Nesta reclassificação foi utilizada a ferramenta “Reclassificar por tabela” na versão 3.16 do QGis.

Para realizar a análise dos impactos causados na hidrografia local a partir das mudanças no uso e ocupação do solo, foi realizado o download do arquivo SHP de hidrografia de Minas Gerais, também no *WebGis* IDE Sisema, posteriormente foi feito o recorte para o município de estudo. O resultado do recorte foi sobreposto ao mapa de mudanças de 2019, para possibilitar a visualização dos locais que mais sofreram com as mudanças e quais os possíveis impactos que podem haver nestas áreas.

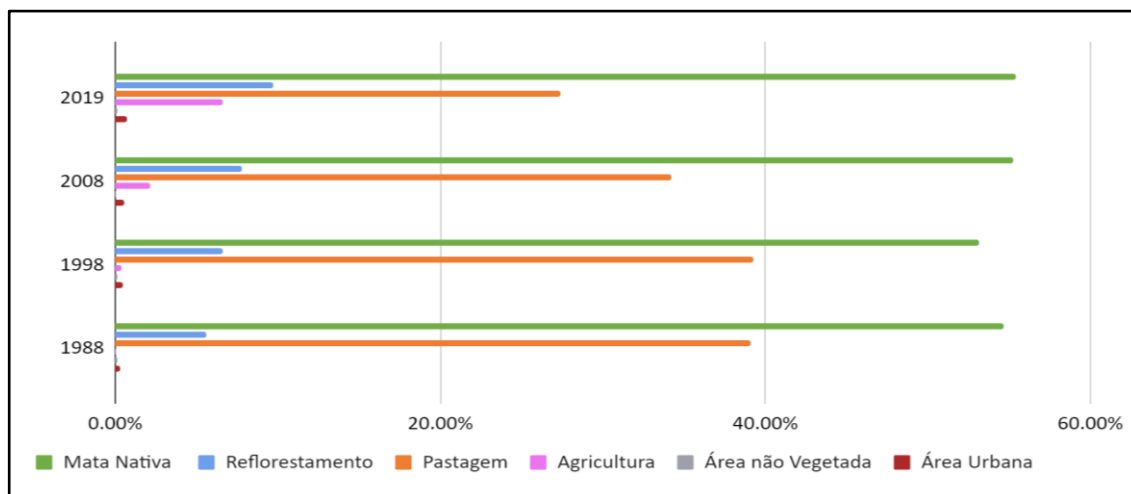
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A necessidade de conhecimento e monitoramento das alterações no uso do solo é de extrema importância, para um planejamento ambiental assertivo e posterior amenização de impactos já existentes, uma vez que os recursos naturais são essenciais para a biodiversidade, abastecimento dos municípios, práticas agrícolas dentre outros. A preservação destes recursos vai garantir o sucesso da expansão das atividades essenciais do município, assim como uma mudança no uso do solo que traga mais lucratividade e reconhecimento nas suas ações positivas.

A geração de uma base de dados cartográficas das mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo é de grande relevância para ações e planejamentos por órgãos municipais competentes. A base de dados poderá, ainda, auxiliar outros pesquisadores a pontuar os impactos causados e propor medidas preservacionistas na área.

As imagens de classificação do uso e ocupação do solo disponibilizadas pelo projeto MapBiomas, aliada ao geoprocessamento com a ferramenta Molusce, disponível na versão 2.18 do SIG QGis, foram útil para visualização das mudanças ocorridas no município de São João del-Rei entre os anos 1988, 1998, 2008 e 2019. Com os procedimentos realizados, foram gerados quatro mapas de classificação do uso do solo e três mapas de mudanças com suas principais transições de classes entre os anos. O gráfico 1 ilustra as classes encontradas em cada um dos anos analisados.

Gráfico 1 – Classes em porcentagem de ocupação do solo no município de São João del-Rei



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do MapBiomas - Coleção 5.0

Com os mapas de uso e ocupação do solo foi possível notar que nos quatro cenários analisados, a mata nativa permaneceu com percentual acima de 50%, o que indica um alto nível de preservação e cuidado para com essa classe. O gráfico 1 também mostra que o reflorestamento teve um crescimento positivo de aproximadamente 1,5% a cada intervalo estudado, representando 9,71% no ano de 2019. Outra análise pertinente pode ser feita nas classes de Pastagem e Agricultura. A pastagem é uma classe predominante da região e no município de estudo, podemos observar que desde 1988, ano inicial de análise, fica notório sua presença em 39,11% da área total de São João del-Rei, sendo a segunda classe predominante mesmo em todos os anos seguintes de análise, perdendo apenas para a classe Mata Nativa. No entanto, é visível que a agricultura apresenta inexpressiva ocupação em 1988, com apenas 0,07%. Seu crescimento ocorreu a partir do ano de 2008 onde já representava 2,14%, e em 2019 um novo aumento, desta vez representando 6,64% da área total. A classe de Área não Vegetada sofreu uma diminuição no intervalo dos 31 anos analisados, onde em 1988 representava 0,17% e em 2019 representava 0,09%. A Área Urbana por sua vez obteve um crescimento gradual positivo nos 4 cenários. Em 1988 representava 0,34% da área total do município, em 1998 esta porcentagem era de 0,48%, em 2008 a área urbana representava 0,58%, já em 2019 esta porcentagem aumenta para 0,71% com população estimada de 89.832 habitantes segundo IBGE.

Ao realizarmos os procedimentos do plugin MOLUSCE, obtivemos uma matriz de transição destas classes para cada cenário analisado. No primeiro cenário, 1988 para 1998 temos destaque para as seguintes mudanças expressas na Tabela 1.

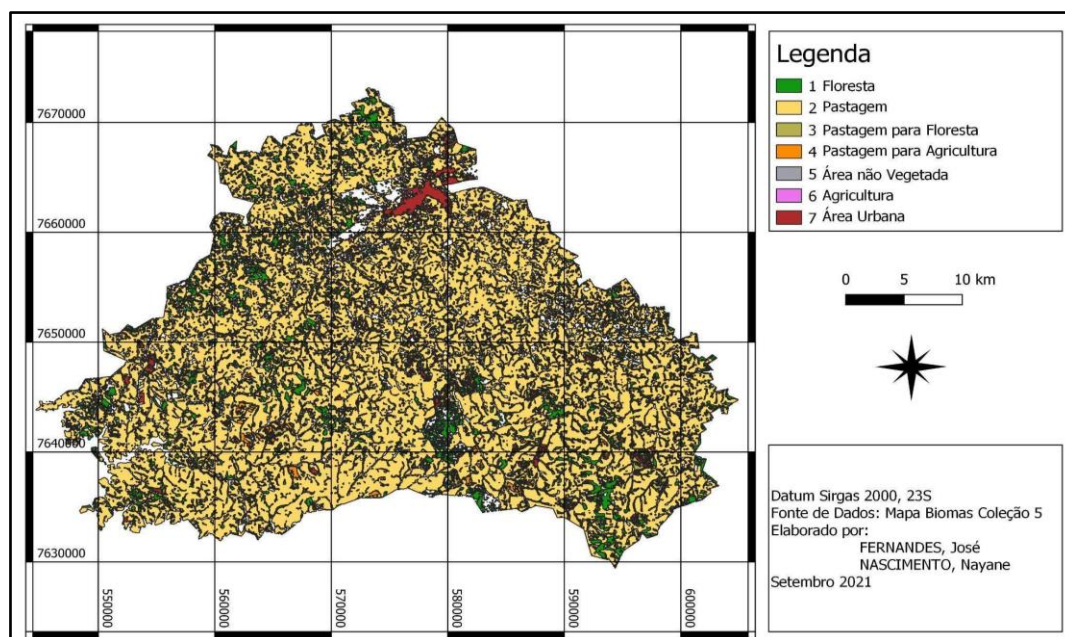
Tabela 1: Transição de mudanças no uso do solo em São João del-Rei de 1988 a 1998

CLASSES	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6
1 Mata Nativa	92,82%	0,15%	0,54%	0,001%	0,003%	0,01%
2 Reflorestamento	0,66%	88,80%	0,44%	0,002%	0,00%	0,00%
3 Pastagem	0,50%	0,19%	91,85%	0,099%	0,002%	0,015%
4 Agricultura	0,19%	*13,01%	*70,44%	13,98%	0,05%	0,00%
5 Área não Vegetada	*39,53%	0,29%	16,39%	0,025%	36,25%	0,46%
6 Área Urbana	0,005%	0,001%	0,002%	0,00%	0,00%	99,89%

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do MapBiomias - Coleção 5.0

Na tabela 1 podemos observar que as principais mudanças ocorridas estão identificadas com asterisco, já o destaque em cinza expressa a porcentagem de cada classe que permaneceu intacta, ou seja, sem mudanças. Portanto, vemos que do total da classe Área não Vegetada, 39,53% sofreu transição para a classe Mata Nativa; Na Classe Agricultura, 13,01% se transformou em área de Reflorestamento neste primeiro intervalo de 10 anos analisados; A Agricultura que já possuía um percentual baixo de 0,07%, sofreu transição de 70,44% deste total para dar lugar à Pastagem. A Figura 2 espacializa as transições aqui citadas.

Figura 3 – Mudança no uso e ocupação do solo entre os anos de 1988 e 1998 em São João del-Rei



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do MapBiomas - Coleção 5.0

No segundo cenário, 1998 para 2008 temos destaque para as seguintes mudanças expressas na Tabela 2.

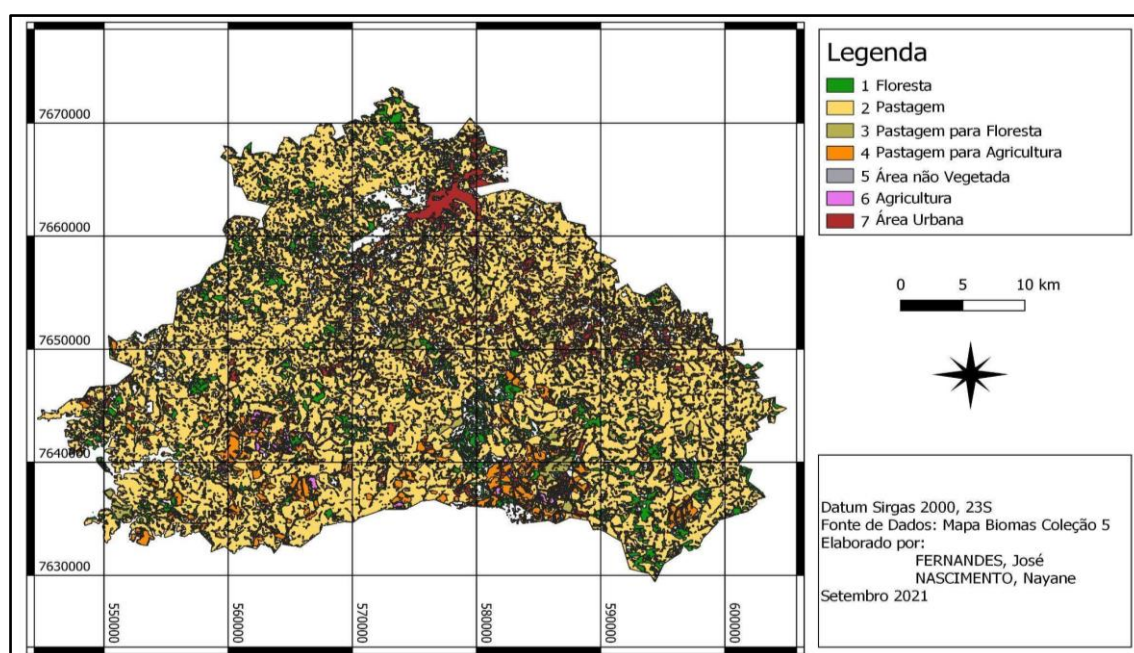
Tabela 2 – Transição de mudanças no uso do solo em São João del-Rei de 1998 a 2008

CLASSES	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6
1 Mata Nativa	95,27%	0,16%	0,28%	0,00%	0,00%	0,00%
2 Reflorestamento	0,79%	88,87%	0,31%	0,00%	0,00%	0,00%
3 Pastagem	*10,11%	0,25%	82,37%	0,47%	0,00%	0,01%
4 Agricultura	*8,16%	0,00%	*35,32%	56,40%	0,00%	0,00%
5 Área não Vegetada	*31,93%	0,04%	*12,38%	0,10%	50,36%	0,38%
6 Área Urbana	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	99,83%

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do MapBiomas - Coleção 5.0.

Na tabela 2, temos as principais mudanças ocorridas estão identificadas com asterisco, já o destaque em cinza temos as porcentagens de cada classe que não sofreu alteração. Assim, temos que: a Pastagem, a agricultura e a classe de Área não Vegetada sofreram transição para a Mata Nativa em 10,11%, 8,16% e 31,93% respectivamente. Agricultura e Área não Vegetada sofrem ainda outra transição para pastagem em 35,32% e 12,38% respectivamente. A figura 3 mostra pontualmente onde ocorreram estas transições de classes do ano de 1998 para 2008.

Figura 4 – Mudança no uso e ocupação do solo entre os anos de 1998 e 2008 em São João del-Rei



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do MapBiomas - Coleção 5.0

É possível observar o aparecimento da agricultura na porção sudoeste do município, que no ano de 2008 representa 2,14%.

Já no terceiro e último cenário analisado, com foco nos anos de 2008 a 2019, temos destaque para as seguintes mudanças na Tabela 3.

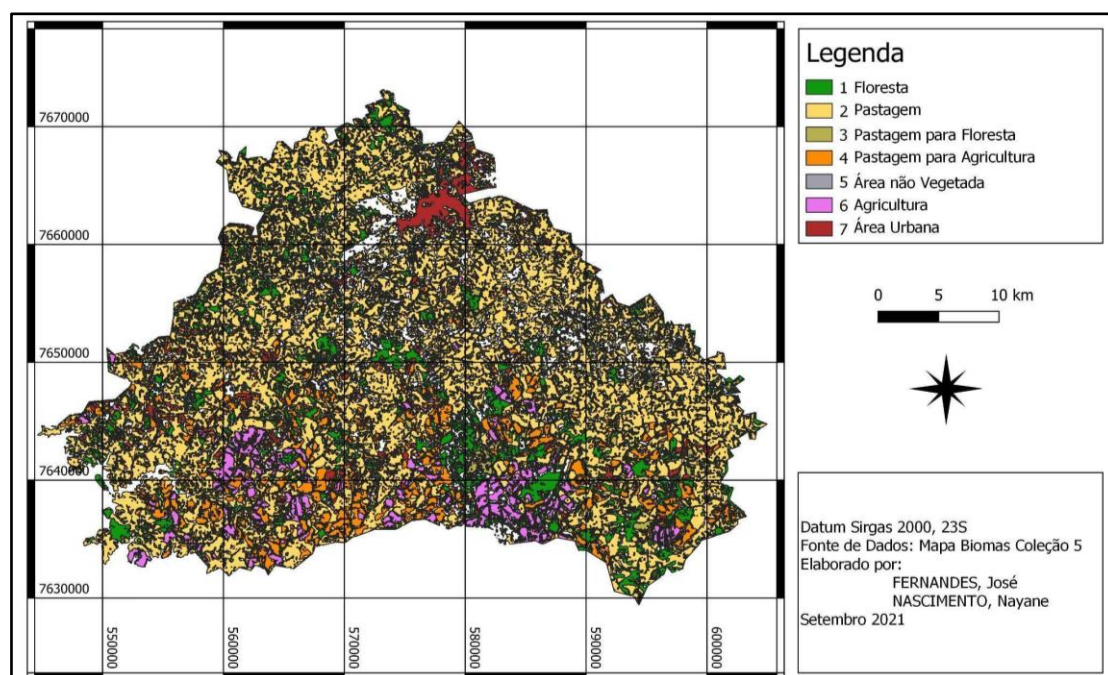
Tabela 3 – Transição de mudanças no uso do solo em São João del-Rei de 2008 a 2019

CLASSES	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6
1 Mata Nativa	91,29%	0,24%	0,48%	0,11%	0,00%	0,01%
2 Reflorestamento	0,76%	90,07%	0,18%	0,002%	0,00%	0,00%
3 Pastagem	*12,60%	0,38%	71,47%	11,87%	0,00%	0,015%
4 Agricultura	0,28%	0,08%	0,75%	88,66%	0,05%	0,00%
5 Área não Vegetada	*22,17%	0,28%	*12,30%	0,34%	51,85%	0,73%
6 Área Urbana	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	99,80%

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do MapBiomas - Coleção 5.0.

Observamos que as principais mudanças ocorridas estão identificadas com asterisco, já o destaque em cinza expressa a porcentagem de cada classe que permaneceu intacta. Logo, temos que a classe Pastagem e a Classe Área não Vegetada sofreram transição para a Mata Nativa em 12,60% e 22,17% respectivamente. Temos um importante destaque para a Pastagem com transição para Agricultura em 11,87%, onde para o ano de 2019 representa uma porcentagem de 6,64% da área total do município. Outra transição de destaque é da classe de Área não Vegetada para a classe Pastagem com alteração de 12,30%. A figura 4 mostra onde ocorreram as transições de classes do ano de 2008 para 2019.

Figura 5 – Mudança no uso e ocupação do solo entre os anos de 2008 e 2019 em São João del-Rei

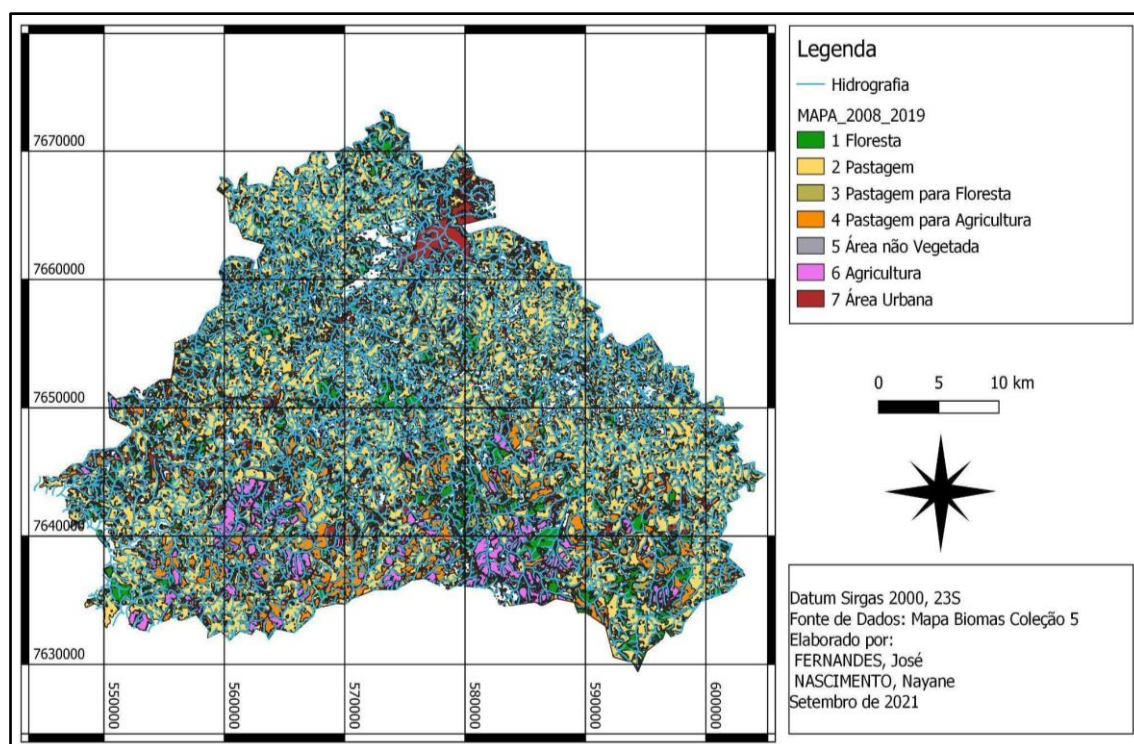


Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do MapBiomas - Coleção 5.0

Percebemos que houve um expressivo aumento da classe Agricultura, indicada na cor rosa, já na cor laranja temos espacializado os locais que eram Pastagem e sofreram transição para Agricultura.


Com o exposto, podemos verificar que houveram mudanças significativas no uso e ocupação do solo no município de São João del-Rei no intervalo dos 31 anos de análise (1988 a 2019), as mudanças são a consequência de uma economia crescente, devido ao avanço populacional e a necessidade de estruturas, comércios, agronegócios etc. influenciam diretamente na dinâmica dos recursos naturais, modificando as paisagens, os cursos dos rios, causando assoreamentos, poluição do ar, solo e água, dentre vários outros impactos imediatos. Neste sentido foi elaborado um mapa sobrepondo a hidrografia local ao mapa de mudanças mais recente, 2008 a 2019, a fim de fazer uma análise dos possíveis impactos que tal mudança pode causar na hidrografia. A figura abaixo mostra o resultado da adição da camada de hidrografia no mapa de mudanças do uso do solo.

Figura 6 – Mudança no uso e ocupação do solo entre os anos de 2008 e 2019 e hidrografia em São João del-Rei



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do MapBiomas - Coleção 5.0

Como é possível notar na figura 5, o município de São João del-Rei possui uma rica rede hidrográfica espalhada em todo o território. Na porção sul, sudoeste e sudeste do município onde ocorreram os avanços da agricultura, podemos concluir




que consequentemente aumentou-se o consumo de água para diversas finalidades, dentre elas irrigação das lavouras, uso humano e dessedentação animal. Por se tratar de zona rural, onde não há tratamento de esgoto, ou encanamento de água é necessário o pedido de “outorga” de uso de água ou mesmo uma “certidão de uso insignificante de água” para que o consumo seja autorizado e regularizado perante os órgãos ambientais competentes, porém mesmo que o uso seja regularizado, há a necessidade de vistorias e visitas técnicas para auxiliar quanto ao uso correto da água e da implantação das atividades potencialmente degradadoras deste recurso.

Os impactos causados por um manejo errôneo de tais atividades exercidas ao entorno dos recursos hídricos e o desrespeito da Lei nº Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013, onde estabelece as Áreas de Preservação Permanente ao entornos dos recursos hídricos podem causar uma série de impactos que, mesmo pequenos, somados podem gerar o esgotamento dos recursos hídricos (BEDÊ, 2013). Dentre os impactos gerados podemos encontrar: desmatamento, erosão, redução da biodiversidade, esgotamento dos recursos hídricos, poluição, desertificação, geração de resíduos dentre outros.

Salientamos que o acompanhamento das modificações do uso e ocupação do solo através do geoprocessamento de imagens, pode ser muito eficaz para tomada de decisões por parte de órgãos públicos fiscalizadores. Apesar de todo o esforço governamental para proteger as áreas frágeis de uma bacia hidrográfica criando leis de proteção, é preciso fiscalização e o envolvimento de todos para dar certo. Uma integração entre os órgãos competentes e os moradores é importante para que haja efetivamente uma devida proteção dessas áreas.

4. CONCLUSÕES


Claramente as modificações ocorridas no uso e ocupação do solo no município de São João del-Rei no intervalo dos 31 anos analisados, entre os anos de 1988 a 2019, revela uma predominância no uso de pastagens. No início da análise apresentava valores acima de 39% e no final da análise terminou com 27,43%, perdendo espaço para o reflorestamento e agricultura, sendo esta última que apresentou um maior crescimento relevante em pontos percentuais. A mata nativa praticamente não apresentou mudanças expressivas, mas foi um ponto positivo na preservação dos recursos naturais e biodiversidade onde é predominante. Foi



possível verificar a degradação da mata ciliar no leito dos rios e supressão de algumas nascentes segundo imagens de satélites, dado que a análise não foi levantada *in loco*. A economia crescente do município, devido ao avanço populacional e a necessidade de estruturas, como comércio, turismo, agronegócio, entre outras, influenciam diretamente no consumo dos recursos naturais. Espera-se que este estudo contribua com outros pesquisadores e sirva de referência para tomada de decisões pelos administradores do município de São João Del-Rei.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Cláudia Maria de. **O diálogo entre as dimensões real e virtual do urbano**. In ALMEIDA, M. C; CÂMARA, G; MONTEIRO, A. M. V (org.) Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade Virtual. Oficina de Texto, 2007.
- ARAÚJO, Mário Henrique; SANTOS, Aderson. **Analysis of Irregular Occupations on Jaguaribe River Margins on The Neighbourhood of Bessa, in The City of João Pessoa-Brazil**. 8 th FIG Regional Conference 2012 Surveying towards Sustainable Development, Montevideo, Uruguay, nov. 2012.
- Bedê, Júlio Cadaval. **Lei Florestal de Minas Gerais : Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013 : dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade : orientações aos produtores rurais / [coordenação e elaboração dos textos: Júlio Cadaval Bedê]**. – Belo Horizonte: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2013. 53 p. : il.
- CARVALHO, G. A.; LEITE, D. V. B. **Geoprocessamento na gestão urbana municipal – a experiência dos municípios mineiros Sabará e Nova Lima**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. Anais. Natal: Inpe, 2009. p. 3643 - 3650.
- CAZULA, L. P., MIRANDOLA, P. H. **Bacia Hidrográfica – Conceitos e Importância como Unidade de Planejamento: um exemplo aplicado na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado/SP - Brasil**. Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros, 2010, p. 101-124.
- DÉAK, C. **O processo de urbanização no Brasil: falas e façanhas**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999. p. 9.
- FERREIRA, Jean Samarone Almeida; FERREIRA, Ana Paula Lu"Dtke. **Análise de ferramentas de suporte tecnológico para simulação da dinâmica da cobertura e uso do solo**. Anais do Workshop de Computação Aplicada À Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais (Wcama), [S.L.], 26 jun. 2018. Sociedade Brasileira de Computação - SBC. <http://dx.doi.org/10.5753/wcama.2018.2932>.



IBGE. **Censo Demográfico 2010: Características gerais da população.** Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#população>. Acesso em: 15 de setembro de 2021.

Mapeamento anual da cobertura e uso do solo no Brasil (MAPBIOMAS). **MapBiomass.** 2020. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 15 dez. 2021.

PÔSSA, E. M, VENTORINI, S. E. **Mapeamento digital da bacia do Córrego do Júlio – São João Del-Rei – MG como Suporte ao Diagnóstico Geoambiental.** *Boletim de Geografia*, 2015.p. 64-80.

ROCHA, A. A., VIANNA, P. C. **A bacia hidrográfica como unidade de gestão da água.** II SEMILUSO - Seminário Luso-Brasileiro Agricultura Familiar e Desertificação, Julho de 2008, p. 3.

SISEMA. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.** Belo Horizonte: IDE-Sisema, 2019. Disponível em: idesisema.meioambiente.mg.gov.br. Acesso em: 16/09/2021.



CAPÍTULO VI

GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO DIAGNÓSTICO TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA MICROBACIA DO RIBEIRÃO DOURADINHOS DE UBERLÂNDIA/MG

DOI: 10.51859/ampla.aca955.1122-6

Juliana Dias Pedroso

Discente do Curso de Especialização em Geoprocessamento
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM, Uberaba, MG, Brasil
julianad.p8@gmail.com

Dereck Gomes Ferreira

Discente do Curso de Especialização em Geoprocessamento
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM, Uberaba, MG, Brasil
dereck.ferreira@estudante.iftm.edu.br

Daniel Pena Pereira

Professor Dr. do Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM, Uberaba, MG, Brasil
danielpena@iftm.edu.br

Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Professora Dra. do Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM, Uberaba, MG, Brasil
mayte@iftm.edu.br

Joyce Silvestre de Sousa

Professora Dra. do Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM, Uberaba, MG, Brasil
joyce@iftm.edu.br





RESUMO


Uma das principais maneiras de acompanhar mudanças em um determinado ecossistema é observando as alterações do uso e ocupação do solo. Sendo assim, existe a necessidade de se analisar essas dinâmicas para garantir uma melhor gestão territorial e um uso mais racional dos recursos naturais, sendo o geoprocessamento uma das ferramentas mais úteis na elaboração desses estudos. O presente trabalho se propõe a realizar um diagnóstico dos processos de uso e ocupação do solo da Microbacia do Ribeirão Douradinhos, pertencente a Bacia do Tijuco e localizada no município de Uberlândia – MG, com área de 48.482,5 hectares. Para isso, foram analisados 4 mapas de uso e ocupação dos anos 1988, 1998, 2008 e 2019. Esses mapas foram sobrepostos utilizando o *software* QGis (versão 3.14) e o *plugin* Molusce, resultando em mais 3 mapas de mudanças. Ao final do período de 41 anos analisado, percebeu-se uma diminuição das áreas de florestas naturais de 24% da área total da microbacia para 17%, sendo a primeira década a mais crítica no que se refere ao desmatamento. As florestas plantadas aumentaram de 0,7% para 4,5%, sobretudo também na primeira década. A área destinada a agricultura subiu de 2,4% para 20%, enquanto a área destinada a pecuária caiu de 70% para 57% no mesmo período. Embora tenha havido um decréscimo da pecuária em favorecimento das áreas destinadas a agricultura, a pecuária continua sendo o uso mais expressivo na microbacia.

Palavras-chave: Uso e ocupação do solo, diagnóstico temporal, desmatamento, agropecuária, geoprocessamento

1. INTRODUÇÃO

A ocupação humana para agropecuária e o processo de urbanização no Brasil, de forma geral, se deu rápida e desorganizadamente, sem levar em conta as implicações aos ecossistemas naturais (BRAGA, 2003 apud. PAVANIN et al., 2016). Essa falta de planejamento e de gestão territorial é um problema geral em território brasileiro e compromete os recursos naturais em diversos níveis. Uma das principais maneiras de acompanhar mudanças em um determinado ecossistema é acompanhando as alterações do uso e ocupação do solo, visto que as atividades exercidas naquela região impactam diretamente na conservação dos recursos hídricos, além de causarem alterações na composição da flora e fauna local. Sendo assim, existe a necessidade de se analisar essas dinâmicas para garantir uma melhor gestão territorial e hídrica, e um uso mais racional dos recursos naturais.

Souza et al (2000) destacam que a qualidade dos corpos d'água está relacionada a fatores como geologia, solos, clima, tipo e quantidade de cobertura vegetal e também com o grau e modalidade das atividades humanas exercidas dentro da bacia/sub-bacia. Portanto, pode-se concluir que a qualidade e quantidade



das águas superficiais e subterrâneas estão diretamente relacionadas às dinâmicas de uso e ocupação do solo dentro dessa bacia hidrográfica (SOUZA et al, 2000).

Os autores também chamam a atenção para a importância de se utilizar a bacia hidrográfica como unidade básica de trabalho nas abordagens de planejamento e gestão, uma vez que essas abordagens são mais adequadas para compatibilização da produção com a preservação ambiental, pois “por serem unidades geográficas naturais (seus limites geográficos - os divisores de água - foram estabelecidos naturalmente), as bacias hidrográficas possuem características biogeofísicas e sociais integradas.” (SOUZA et al, 2000).

Compreender os processos de uso e ocupação do solo se faz necessário quando se pretende diagnosticar e corrigir possíveis impactos ambientais, bem como pensar em formas menos impactantes de manejo. O presente trabalho se trata de um esforço para compreender esses processos na Bacia do Ribeirão Douradinhos utilizando ferramentas de geoprocessamento.

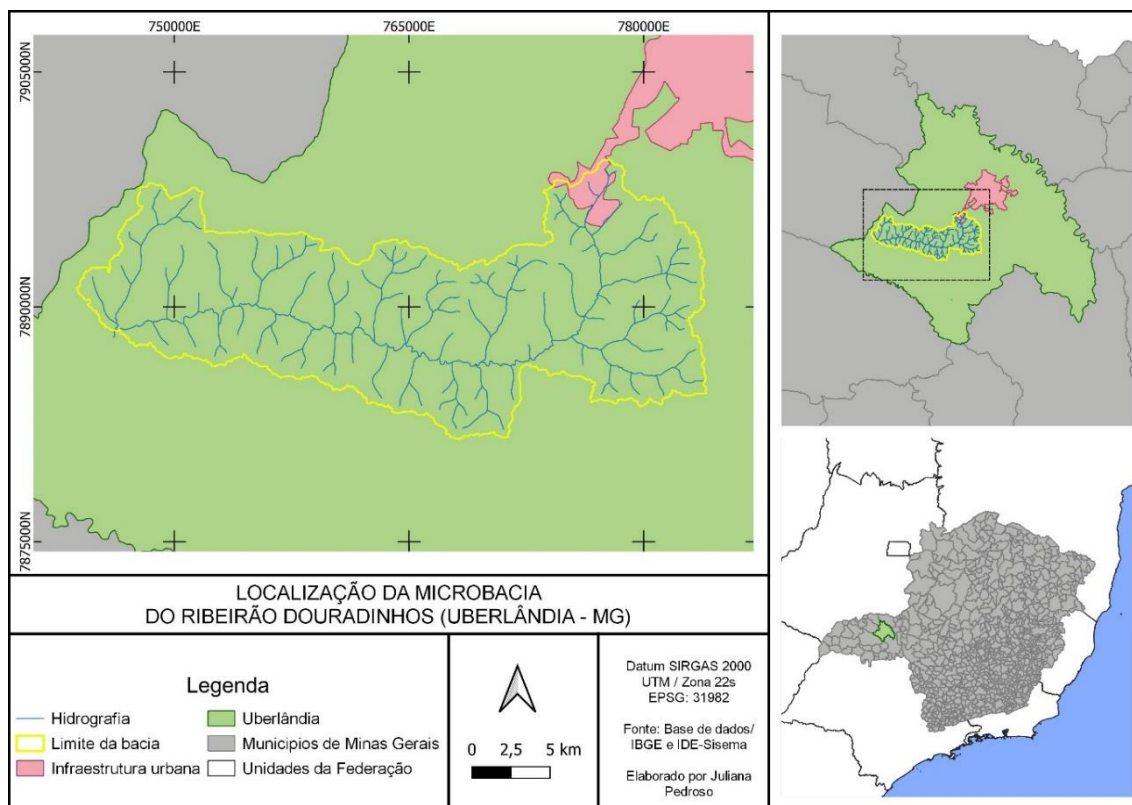
Neste trabalho será analisado a evolução temporal do processo de uso e ocupação do solo da Microbacia do Ribeirão Douradinhos, pertencente a Bacia do Tijuco e localizada no município de Uberlândia – MG, ao longo de um período de 41 anos.

2. METODOLOGIA

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Microbacia do Ribeirão Douradinho compõe a Bacia do Rio Tijuco, e está localizada na porção oeste do município de Uberlândia, no Triângulo Mineiro, MG (Figura 1), nas coordenadas UTM Sirgas 2000 22s 78988185 e 7881992 S e 783564 e 745067 W. A área total da microbacia é 48.482,5 hectares.

Figura 1 – Mapa de localização da Microbacia do Ribeirão Douradinhos




Fonte: Dos Autores (2021).

A microbacia em questão está inserida no domínio natural do Cerrado. Por muito tempo a região foi considerada importante entreposto comercial, por estar localizado em uma porção central do território brasileiro. O agronegócio se consolidou como principal atividade econômica da região, o que levou ao desmatamento de extensas áreas de vegetação nativa. Embora o município de Uberlândia possua uma legislação específica sobre o zoneamento ambiental desde 1999 (Lei Complementar nº224/1999, que foi substituída pela Lei Complementar nº 525/2011), o processo de uso e ocupação do solo na região nem sempre leva em conta as aptidões e capacidade de suporte específicas de cada área.

O paradigma da Revolução Verde, caracterizado pela expansão de áreas de cultivo, por um grande aumento de produtividade focada em *commodities* e pela adoção de novas práticas de manejo baseadas em “pacotes tecnológicos”, resultaram na ocupação de grandes áreas de Cerrado para a criação de gado e o cultivo de monoculturas. Nesse contexto, o bioma se consolidou como uma “nova fronteira da agricultura moderna brasileira” (OLIVEIRA, 2017).

Em um estudo sobre a caracterização dos fragmentos florestais nas Bacias do Ribeirão Douradinhos e Ribeirão Estiva, Souza et al (2014) chama a atenção para a



intensificação da ocupação das áreas de Cerrado a partir da década de 1950, com os planos de ocupação da região central do Brasil, na qual extensas áreas de vegetação nativa foram substituídas por áreas destinadas à produção agrícola, e a microbacia é um claro exemplo desse processo.

2.2. COLETA E PROCESSAMENTO DOS DADOS

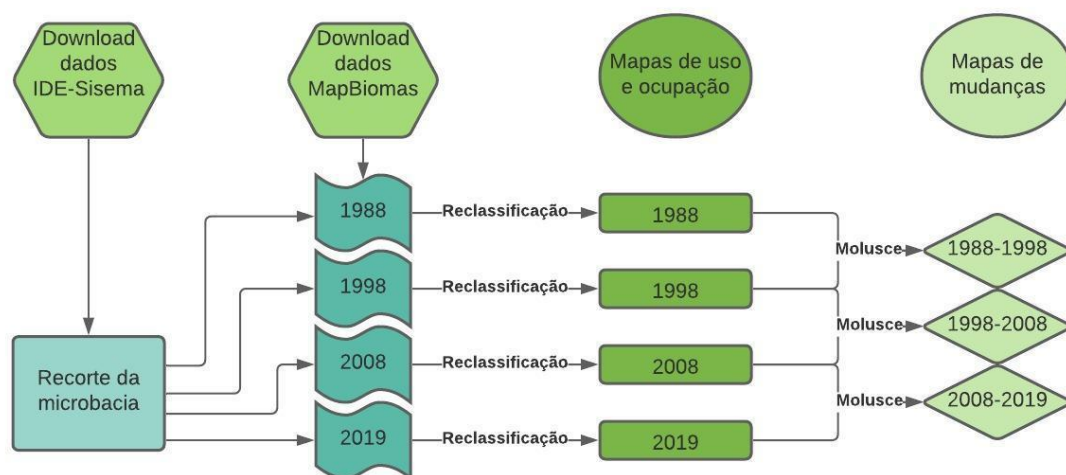
Para analisar a evolução temporal do processo de uso e ocupação da em um período de 41 anos (1988-2019), o primeiro passo foi elaborar no software QGis, versão 3.14, o recorte dos limites da microbacia a partir da base de dados da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema). Os dados sobre hidrografia foram adquiridos nesse sistema. Posteriormente, foram baixadas as imagens de uso e ocupação do solo da plataforma MapBiomas dos anos determinados no estudo, em formato *raster*. Essas imagens foram recortadas utilizando como máscara o arquivo *shapefile* do limite da microbacia produzido, resultando em 4 mapas de uso e ocupação do solo da microbacia referente aos anos de 1988, 1998, 2008 e 2019.

Esses mapas foram reclassificados no QGis, de forma que permaneceram com as classes mais relevantes para a análise, sendo elas: floresta natural, floresta plantada, pecuária, agricultura, infraestrutura urbana e áreas não vegetadas. Esses mapas reclassificados foram sobrepostos com a utilização do *plugin* Molusce, no software QGis 2.18. O Molusce trabalha sobrepondo os dados de dois mapas para identificar as mudanças ocorridas em uma área, gerando os mapas e as tabelas com os dados numéricos que serão apresentadas nesse trabalho. Dessa maneira, elaborou-se mapas que permitiram análise dos processos e dinâmicas de uso e ocupação do solo por décadas (1988-1998, 1998-2008, 2008-2019).

A Figura 2 apresenta o fluxograma da metodologia.

O sistema de referência de coordenadas (SRC) utilizado nesse trabalho foi o SIRGAS 2000/UTM Zona 22s.

Figura 2 – Fluxograma da metodologia



Fonte: Autores (2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. MAPAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A figura 3 apresenta os mapas de uso e ocupação do solo dos anos 1988, 1998, 2008 e 2019. A Tabela 1 apresenta os dados numéricos das áreas em hectares correspondentes a cada uma das classificações fornecidas pelo MapBiomas nos períodos trabalhados.

A partir da análise da Tabela 1 e da Figura 3, observa-se que a área de floresta natural, representada nos mapas em verde escuro, apresentou tendência de queda e perdeu gradativamente ao longo dos 41 anos aproximadamente 3 mil hectares. Percebe-se a perda de uma faixa de área considerável de mata nativa ao sul da bacia, da qual em 2019 restou apenas um pequeno trecho de mata ciliar.

Por outro lado, a área de floresta plantada apresentou uma alta significativa, sobretudo entre os anos de 1988 e 1998, mantendo a tendência de subida até 2019. É possível observar que no mapa de 1998 surge uma faixa em verde claro a oeste, que indica um crescimento das florestas plantadas. A área correspondente ao reflorestamento tem uma média de 2000 hectares, o que pode ser explicado pela tendência de crescimento do setor de silvicultura para a produção de celulose na região. Nardini et al (2014, apud SOUSA, 2015) ressalta que, progressivamente, as áreas de cerrado vêm sendo substituídas por outras culturas de maior retorno econômico, como é o caso do reflorestamento.

O principal uso da terra nessa microbacia é para a pecuária, classe representada no mapa pela cor salmão. Pela análise da Tabela 1, observa-se que no ano de 1988 quase 35 mil hectares eram utilizados para esse fim, número que pouco mudou em 1988 e teve leve queda a partir de 2008, chegando em 2019 com aproximadamente 28 mil hectares – apesar da queda de aproximadamente 7 mil hectares, continua sendo de longe a classe de uso mais expressiva na microbacia.

A agricultura, por sua vez, em 1988 possuía uma área pouco expressiva, realidade que mudou progressivamente ao longo dos anos, sendo que ao longo do período estudado cerca de 8,500 hectares passaram a ser destinados a esse uso, o que se confirma pelo crescimento da faixa amarela sobretudo na parte mais central do mapa.

Esses dados reforçam a importância econômica do agronegócio no cenário local. Segundo Oliveira (2014),

A importância assumida por Uberlândia neste setor se deve, sobretudo, à presença de empresas agroindustriais de grande porte, processadoras de grãos (principalmente a soja) e de carnes, tais como a Cargill Agrícola e a BRF Brasil Foods, dentre outras (OLIVEIRA, 2014).

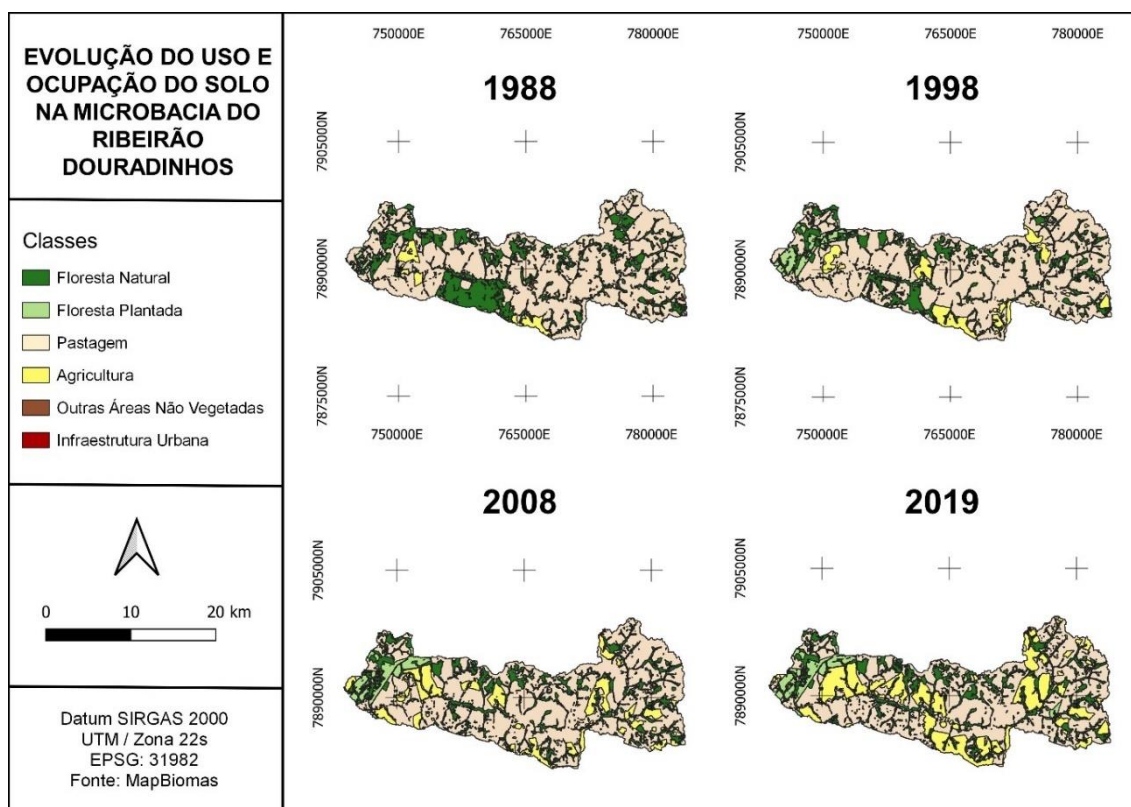
O mapa de 1988 não apresenta área urbanizada, o que se modifica em 1998, quando uma pequena área de cerca de 17 hectares passa a ser destinada a esse fim. Em 2019 essa área é de cerca de 37 hectares, e está representada por um pequeno ponto vermelho ao norte da bacia.

Tabela 1 – Uso e ocupação do solo (ha) na Microbacia do Ribeirão Douradinhos por ano

Ano	1988	1998	2008	2019
ÁREA TOTAL (ha)				
Floresta natural	11908,9	9145,1	8563,8	8457,0
Floresta plantada	373,6	1679,0	1875,1	2212,5
Pecuária	34842,7	34122,4	32509,5	27972,5
Agricultura	1160,1	3494,5	5498,4	9754,2
Área Urbana		17,9	20,3	37,6
Não vegetadas	184,9410	23,3790	15,1	48,4
Lagos	12,1376			
ÁREA TOTAL DO ESTUDO (ha)	48482,5	48482,5	48482,4	48482,5

Fonte: Autores (2021).

Figura 3 - Mapas de uso e ocupação do solo dos anos 1988, 1998, 2008 e 2019 na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Douradinhos



Fonte: Autores (2021).

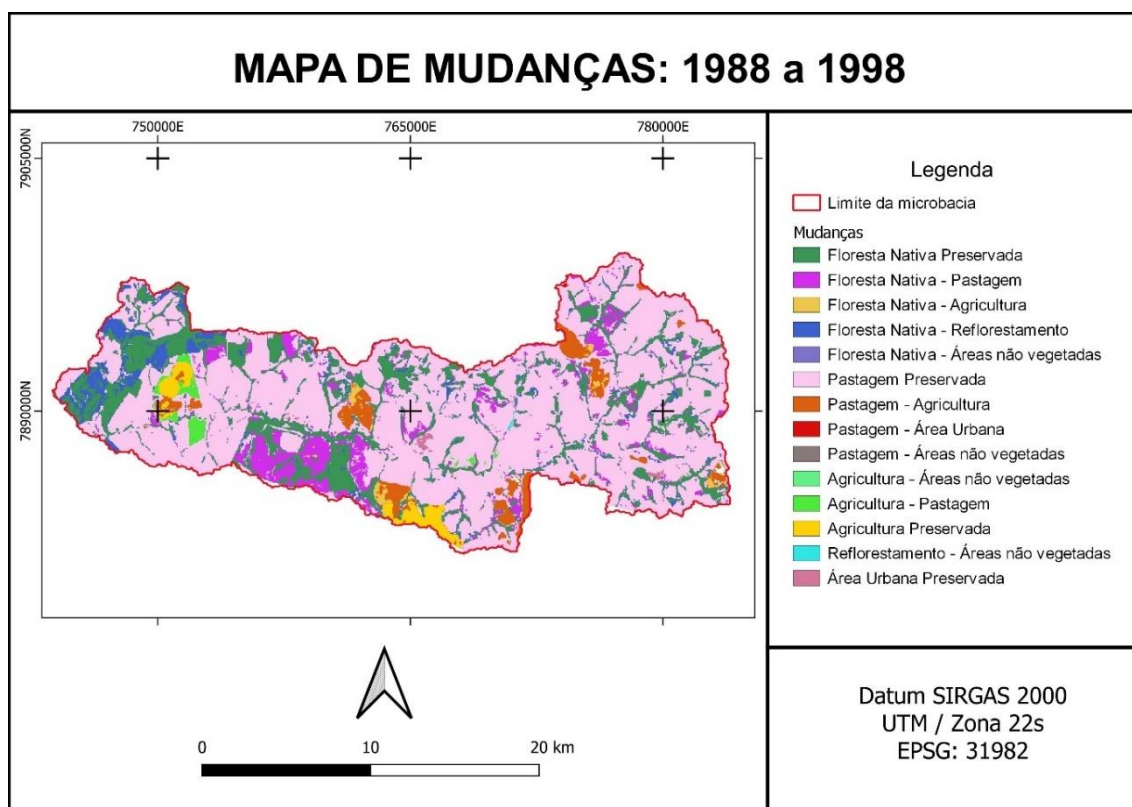
3.2. MAPAS DE MUDANÇAS

Os mapas que serão apresentados nessa sessão representam as mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo nos períodos de transição. O software Molusce gerou os mapas referentes aos respectivos períodos (1988-1998, 1998-2008, 2008-2019) nos quais é possível observar as áreas que deixaram de ser utilizadas para cada um dos fins e passaram a integrar uma nova classe de uso. O software também gerou tabelas com os valores numéricos em hectares e porcentagens das áreas que sofreram mudanças, as quais serão apresentadas após os mapas.

3.3. PERÍODO DE 1988 A 1998

O primeiro mapa é referente ao período entre os anos de 1988 e 1998 (Figura 4). A oeste desse mapa, é visível um aumento considerável da área de reflorestamento, proveniente da conversão de áreas de florestas nativas. Ao sul da bacia houve uma tendência de substituição de florestas por pastagem. Percebe-se também algumas manchas referentes a conversão de áreas de pastagem para agricultura.

Figura 4 – Mapas de mudanças no uso e ocupação do solo ocorridas na microbacia do Ribeirão Douradinhos no período de 1988 a 1998



Fonte: Autores (2021).

A Tabela 2 apresenta as mudanças de uso e ocupação do solo nesse período. Os dados da Tabela 2 se confirmam na observação do mapa: houve um decréscimo das florestas naturais, que perderam cerca de 5,7% de sua área. Por outro lado, aumentaram as áreas destinadas às florestas plantadas em 2,6 % e à agricultura em 4,7%, das quais a maior parte foi proveniente da conversão de pastagens.

Tabela 2 – Mudanças no uso e ocupação do solo ocorridas na microbacia do Ribeirão Douradinhos no período de 1988 a 1998

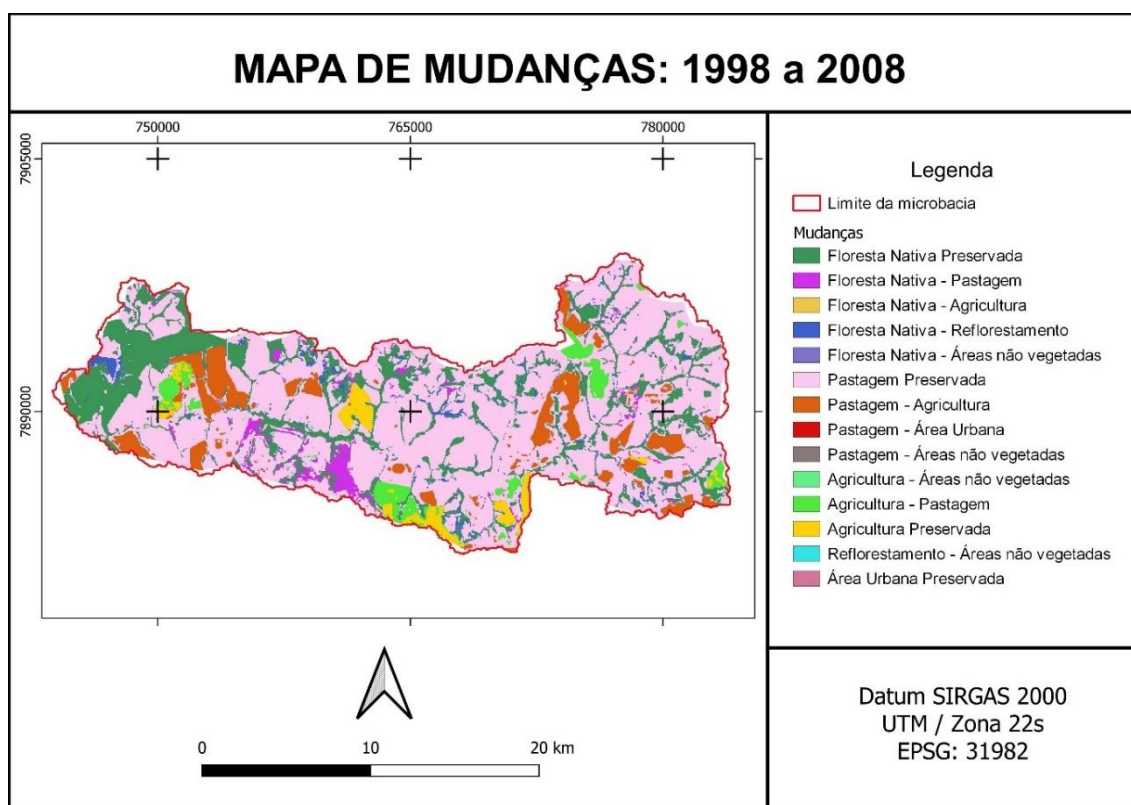
Classe	Mudança em área (ha)	1988 (%)	1998 (%)	Mudança em %
Floresta natural	-2764,7	24,5	18,8	-5,7
Floresta plantada	1309,2	0,7	3,4	2,6
Pecuária	-712,7	71,8	70,3	-1,4
Agricultura	2325,3	2,4	7,1	4,7
Outras áreas não vegetadas	-162,9	0,38	0,04	-0,3
Infraestrutura urbana	5,85	0,02	0,03	0,01

Fonte: Autores (2021).

3.4. PERÍODO DE 1998 A 2008

O mapa apresentado na Figura 5 representa as mudanças de uso e ocupação do solo na microbacia entre os anos de 1998 e 2008. Pode-se notar que novamente a área de pastagem que se manteve intacta é a mais expressiva do mapa. Também houve mudanças em áreas de pastagem que foram convertidas para agricultura. O oposto também aconteceu, embora em menor grau: áreas de agricultura que foram convertidas para pastagem.

Figura 5 - Mapas de mudanças no uso e ocupação do solo ocorridas na microbacia do Ribeirão Douradinhos no período de 1998 a 2008



Fonte: Autores (2021)

Numericamente, percebemos menos alteração na área de floresta natural em comparação com a década anterior. Também é visível um decréscimo de cerca de 3,3% da área destinada às pastagens, que antes representava 70% da área total da bacia e passou a representar 67%. Por outro lado, a área destinada a agricultura aumentou em cerca de 4,1% e passou a representar 11,3% da área total.

Tabela 3 - Mudanças no uso e ocupação do solo ocorridas na microbacia do Ribeirão Douradinhos no período de 1998 a 2008

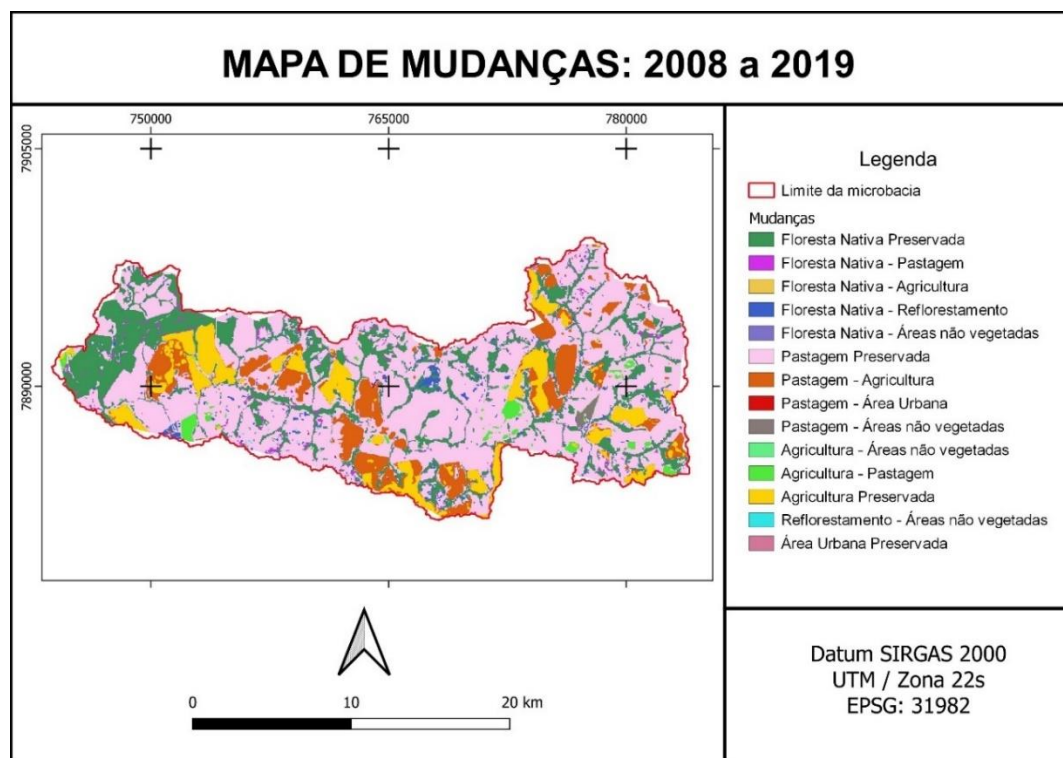
Classe	Mudança em área (ha)	1998 (%)	2008 (%)	Mudança em %
Floresta natural	-572,2	18,8	17,6	-1,2
Floresta plantada	192,5	3,4	3,8	0,3
Pecuária	-1621,9	70,3	67	-3,3
Agricultura	2007,8	7,1	11,3	4,1
Outras áreas não vegetadas	-8,1	0,04	0,03	-0,01
Infraestrutura urbana	2,3	0,03	0,04	0,004

Fonte: Autores (2021)

3.5. PERÍODO DE 2008 A 2019

O mapa de mudanças entre os anos de 2008 e 2019, representado na Figura 6, segue basicamente os mesmos padrões do mapa anterior, com a diferença principal que a área de agricultura preservada, foi mais que o dobro da década anterior, o que significa que a área destinada a essa atividade pouco sofreu mudanças. Nesse período, existiram áreas de pastagem convertida para agricultura, porém, pouca área de agricultura foi convertida a outros usos. Isso mostra que, nessas duas décadas, a agricultura representada pela plantação de *commodities* ganhou mais espaço, ao contrário da pecuária, que perdeu área, embora permaneça ocupando grandes extensões territoriais na região.

Figura 6 - Mapas de mudanças no uso e ocupação do solo ocorridas na microbacia do Ribeirão Douradinhos no período de 2008 a 2019



Fonte: Autores (2021).

A tabela 4 apresenta as mudanças no uso e ocupação do solo ocorridas na microbacia, entre os anos de 2008-2019.

Tabela 4 - Mudanças no uso e ocupação do solo ocorridas na microbacia do Ribeirão Douradinhos no período de 2008 a 2019

Classe	Mudança em área (há)	2008 (%)	2019 (%)	Mudança em %
Floresta natural	-111,5	17,6	17,4	-0,2
Floresta plantada	342,8	3,8	4,5	0,7
Pecuária	-4539	67	57,6	-9,3
Agricultura	4257,2	11,3	20,1	8,7
Outras áreas não vegetadas	32,7	0,03	0,09	0,06
Infraestrutura urbana	18,5	0,04	0,08	0,03

Fonte: Autores (2021)


Nessa tabela é possível observar que a área destinada às florestas naturais pouco sofreu mudança nesse período de 10 anos (apenas 0,2%), o que indica uma desaceleração nos índices de desmatamento. É importante ressaltar que o ano de 2008 marcou a aprovação do Novo Código Florestal, o que pode ter contribuído para essa desaceleração. Nota-se que a tendência observada nos anos anteriores na qual as pastagens perderam área para a agricultura se intensificou nessa década, havendo um decréscimo de 9,3% de área destinada a pecuária, que passou a representar cerca de 57% da área total, e um acréscimo de 8,7% da área de agricultura, que passou a representar cerca de 20% da área da microbacia.

Sobre a agricultura, o destaque da região se dá pela produção de grãos, sobretudo a soja. O município possui três agroindústrias que processam cerca de 7,1 toneladas de soja por dia (MINAS GERAIS, 2011 apud. Oliveira). Também merece destaque econômico o setor sucroalcooleiro. A pecuária, por sua vez, embora tenha decrescido em termos de área, continuou representando, ao final da análise, mais de 50% da cobertura do solo na microbacia, demonstrando que segue sendo um setor econômico bastante relevante na região.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final do período de 41 anos analisado, percebeu-se uma redução das áreas de florestas naturais de 24% da área (1988) para 17% (2019). As florestas plantadas aumentaram de 0,7% para 4,5%. A área destinada a agricultura subiu de 2,4% para 20%, enquanto a área destinada a pecuária diminuiu de 70% para 57% no mesmo período.






A partir dos mapas e dados apresentados, conclui-se que na primeira década analisada, houve uma perda da área de floresta natural em detrimento das pastagens, ao mesmo tempo que as áreas de floresta plantada (reflorestamento) e agricultura tiveram um acréscimo. Na segunda década, a tendência de desmatamento desacelerou, e algumas áreas de pastagem deram lugar a agricultura. Na terceira década o desmatamento desacelerou ainda mais, ao mesmo tempo em que a tendência de conversão de áreas de pastagem para agricultura aumentou. Apesar dessas mudanças, o principal uso da microbacia em 2019 continua sendo para a pastagem, assim como era em 1988.

A supressão da vegetação nativa, embora siga desacelerando, reflete a lógica de transformação do Cerrado em “nova fronteira agrícola” que vigorou a partir da década de 1950/1960. No primeiro ano dessa análise, boa parte dessas áreas já havia sido convertida em pastagem. Contudo, ao longo dos anos estudados a área destinada à pastagem diminuiu enquanto as áreas destinadas às florestas plantadas e à agricultura cresceram, na medida em que essas duas atividades econômicas ganharam maior importância e rentabilidade na região.

REFERÊNCIAS

- OLIVEIRA, D. L. C. M. **O complexo territorial agroindustrial de Uberlândia (MG) no contexto da globalização: uma abordagem teórica e preliminar dos ramos de carnes e de grãos.** I Simpósio Mineiro de Geografia, mai. 2014. Disponível em: <https://www.unifal-mg.edu.br/simgeo/system/files/anexos/Denise%20Leonardo%20Custodio%20Machado%20de%20Oliveira.pdf>
- OLIVEIRA, R. de S. et al. **A agricultura científica globalizada no mercado de cafés finos no município de Patrocínio (MG).** Revista Tocantinense de Geografia, Araguaína (TO), Ano 06, n. 10, mai./agost. de 2017.
- PAVANIN, E. V. et al. **Geoprocessamento aplicado ao diagnóstico de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Guaribas em Uberlândia – MG.** Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, v. 3, n. 2, p. 24-38, dez. 2016. ISSN 2358-6508. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/revistaec/article/view/1433>. Acesso em: 10 nov. 2020. doi:<https://doi.org/10.18256/2358-6508/rec-imed.v3n2p24-38>.
- SOUSA, J. S. et al. **Evolução do conflito de uso do solo nas APPs da rede de drenagem da Bacia Desemboque, em Minas Gerais – Brasil.** I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias - SASGEO – 2015, nov. 2015.



SOUZA, E. R. et al. **Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.21, n.207, p.15-20, nov./dez. 2000

SOUZA, J. dos R. et al. **Caracterização e susceptibilidade ecológica dos fragmentos florestais nas bacias do Ribeirão Douradinho e Ribeirão Estiva – Minas Gerais.** Revista Caminhos da Geografia. V. 15, n. 51, p.85-94, set. 2014.

UBERLÂNDIA. **Lei Complementar nº 525, de 14 de abril de 2011.** DISPÕE SOBRE O ZONEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA E REVOGA A LEI COMPLEMENTAR Nº 245, DE 30 DE NOVEMBRO DE 2000 E SUAS ALTERAÇÕES POSTERIORES. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/mg/u/uberlandia/lei-complementar/2011/52/525/lei-complementar-n-525-2011-dispoe-sobre-o-zoneamento-do-uso-e-ocupacao-do-solo-do-municipio-de-uberlandia-e-revoga-a-lei-complementar-n-245-de-30-de-novembro-de-2000-e-suas-alteracoes-posteriores>

UBERLÂNDIA. **Lei Complementar nº224 de 23 de dezembro 1999.** DISPÕE SOBRE O PARCELAMENTO E ZONEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/mg/u/uberlandia/lei-complementar/1999/22/224/lei-complementar-n-224-1999-dispoe-sobre-o-parcelamento-e-zoneamento-do-uso-e-ocupacao-do-solo-do-municipio-de-uberlandia>



CAPÍTULO VII

ANÁLISE MULTICRITÉRIO COMO FERRAMENTA AUXILIAR PARA ESCOLHA DO LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DEL- REI-MG

DOI: 10.51859/ampla.aca955.1122-7

Nayane Lopes Nascimento

Pós-graduanda em Geoprocessamento, Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, Brasil
nayane.lopesnasct@gmail.com

José Geraldo Rodrigues Fernandes

Pós-graduando em Geoprocessamento, Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, Brasil
jofer.br@gmail.com

Fausto Antônio Domingos Júnior

Doutor em Agronomia, Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, Brasil
fausto@iftm.edu.br

Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Doutora em Agronomia, Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, Brasil
mayte@iftm.edu.br

Amilton Diniz e Souza

Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, Brasil
amilton@iftm.edu.br





RESUMO

O crescimento constante da geração de resíduos sólidos urbanos, associado ao crescimento da população e da falta de políticas de tratamento adequado destes resíduos nos grandes e pequenos municípios, fazem com que os administradores públicos assumam uma tarefa urgente na implementação de aterros sanitários para controlar os efeitos danosos destes resíduos de forma correta. O estudo objetiva montar uma base de dados cartográfica atualizada, aliada a ferramenta Easy AHP disponível no SIG QGis 2.18, e a partir desta base de dados, gerar mapas que indiquem os locais ambientalmente propícios para implantação de um aterro sanitário no município de São João del-Rei, seguindo as normas da PNRS e a Deliberação Normativa COPAM nº118/2008 que regem as diretrizes para instalação dos aterros. Os resultados encontrados mostram que dos 145.200 mil hectares de área do município, 16,64% se encontram aptos para implantação de aterro, destes, 3.175 hectares se encontram em locais mais indicados devido à logística do transporte. As análises podem servir de subsídio para Prefeitura Municipal do município em questão e para órgãos interessados no tocante a escolha de locais ambientalmente propícios para instalação de um aterro Sanitário.


Palavras-chave: Resíduos Sólidos; base de dados cartográfica; Análise hierárquica de Pesos.

1. INTRODUÇÃO

Na história, geração de resíduos e seus problemas consequentes acompanham a humanidade desde seu surgimento. A partir da Revolução industrial, no século XIX, o capitalismo assume um poder nas relações econômicas e sociais, disseminando o acúmulo de bens materiais e a exploração ilimitada dos recursos naturais do planeta. Avançando um pouco mais na história, na década de 1940 ocorre o agravamento da problemática do descarte dos resíduos sólidos, devido a intensificação de produção e consumo de novos materiais e resíduos, tendo em sua composição produtos como plásticos e borrachas. (MOURA, 2006; AMORIM et al., 2010).

Atualmente somos 7 milhões de seres humanos, produzindo anualmente 1,4 bilhão de toneladas de resíduos Sólidos Urbanos (RSU), este valor representa uma média per capita de 1,2Kg por dia, sendo que quase metade desta produção de resíduos está concentrada em menos de 30 países, sendo eles os mais desenvolvidos do mundo (SENADO, 2020)

Apesar de os países mais ricos e desenvolvidos serem também os maiores produtores de resíduos, são também os mais capacitados a gestão dos mesmos por uma série de fatores como recursos econômicos, desenvolvimento tecnológico e




preocupação ambiental por parte da população. Nos países em desenvolvimento, onde a urbanização se deu de forma muito acelerada e desorganizada, como o caso do Brasil, verifica-se déficits na capacidade administrativa e financeira para oferecer serviços como água, saneamento, coleta e destinação adequada do lixo gerado (COSTA et al., 2016).

No Brasil, com o aumento da população e consequentemente aumento da geração de resíduos sólidos, foi criada em 2010 a Lei 12.305 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) com objetivo de reduzir, reutilizar, reciclar e tratar os resíduos sólidos, bem como garantir a disposição final ambientalmente adequada¹ aos mesmos e criar metas para a eliminação e recuperação de lixões. Foi ainda preconizado por essa Lei planos de Resíduos Sólidos a começar pela esfera nacional, seguindo pela esfera estadual, microrregional, intermunicipal e por fim, municipal, onde cada organização pública deve pôr em prática planos cabíveis para o gerenciamento dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Existem vários tipos de resíduos como resíduos: domiciliares, comerciais, públicos, de serviços de saúde e hospitalar, industriais, agrícolas e ainda entulho. O principal destino desses resíduos é o lixão, que tem por características gerais ser um local a céu aberto, ontem se dispõe o lixo sem nenhum tratamento ou cuidado, causando assim, inúmeros problemas e riscos ambientais (AMORIM et al., 2010).

Seguindo a PNRS os municípios que fazem uso de lixões devem extingui-los e recuperá-los e devem passar a adotar os procedimentos preconizados nos aterros sanitários que, segundo Amorim et al. (2010), são locais onde o lixo depositado passa por cuidados e tratamentos com base em normas operacionais e critérios de engenharia que permitem a proteção do meio ambiente e o controle da poluição de forma segura. O lixo por sua vez é comprimido com ajuda de máquinas para redução de seu volume que posteriormente é espalhado no solo, que passa por um processo de compactação. Após estas etapas, a área deve ser coberta por uma camada de areia com o objetivo de diminuir o odor, evitando também a proliferação de insetos e roedores. No aterro sanitário o chorume - líquido escuro gerado pela degradação dos resíduos que contêm altas concentrações de metais pesados, bactérias e matéria orgânica- é coletado e tratado.

¹ Entende-se por disposição final ambientalmente adequada: “distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos” (BRASIL, 2010, p. 1)




A geração de resíduos sólidos no país em 2010 era de 66,7 milhões de toneladas, já em 2019 avançou para 79,1 milhões de toneladas, aumento este de 12,4 milhões de toneladas. Deste total de resíduos produzidos, apenas 59,5% possui disposição final adequada, enquanto que os 40,5% restantes são dispostos de forma inadequada em 2.663 lixões em aproximadamente 2.500 municípios em todo território Brasileiro. (PIRES; OLIVEIRA, 2021).

Segundo a ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2020) a região sudeste lidera o *ranking* de geração de resíduos sólidos total em toneladas por ano e em kg/hab./ano em 2019, sendo 39,4 bilhões/T e 450 kg respectivamente. Minas Gerais que por sua vez é o estado com o maior número de municípios do Brasil (853 municípios) possui 341 deles com lixão neles próprios e 413 municípios com o resíduo destinado à aterros sanitários.

O Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM- do Estado de Minas Gerais, através da Deliberação Normativa COPAM nº118, 27 de junho de 2008 estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado, tendo em vista as peculiaridades regionais, tais como relevo, hidrografia, características dos resíduos e geologia. Desta forma alguns requisitos mínimos devem ser adotados para que seja implementado um sistema adequado de disposição final dos resíduos sólidos. São eles:

- 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 [...] (COPAM, 2008).



Tendo em vista os requisitos propostos pelo COPAM, e levando em consideração as características sociais, estruturais, geomorfológicas e hidrológicas que cada município apresenta, se torna complexo a escolha do local ambientalmente correto, visto que tais características são distintas entre cada região e podem trazer obstáculos e divergências na escolha do local.

Diante do problema, Albuquerque (2015) afirma que, um dos desafios que as organizações públicas e privadas enfrentam está na capacidade de fazer escolhas certas quando se trata de casos específicos com a existência de diversas variáveis, uma vez que tais casos demandam uma complexidade de multi-conhecimentos para sanar os problemas. Neste sentido, a Análise Multicritério auxilia na elaboração de modelos de análise espacial em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), possibilitando traçar cenários, simulação de fenômenos, seleção das principais variáveis de análise e estudo de suas combinações para a busca de respostas da correlação e do comportamento das múltiplas variáveis escolhidas (MOURA, 2007).

Para a definição dos objetivos é necessário um estudo prévio da área desejada para determinar as principais variáveis a serem utilizadas no cruzamento dos dados. Para a organização e adequação da base de dados é preciso catalogar e validar as informações das variáveis, pois, para se obter resultados confiáveis com a Análise Multicritério é de suma importância obter um material cartográfico confiável (SANTOS, 2017).

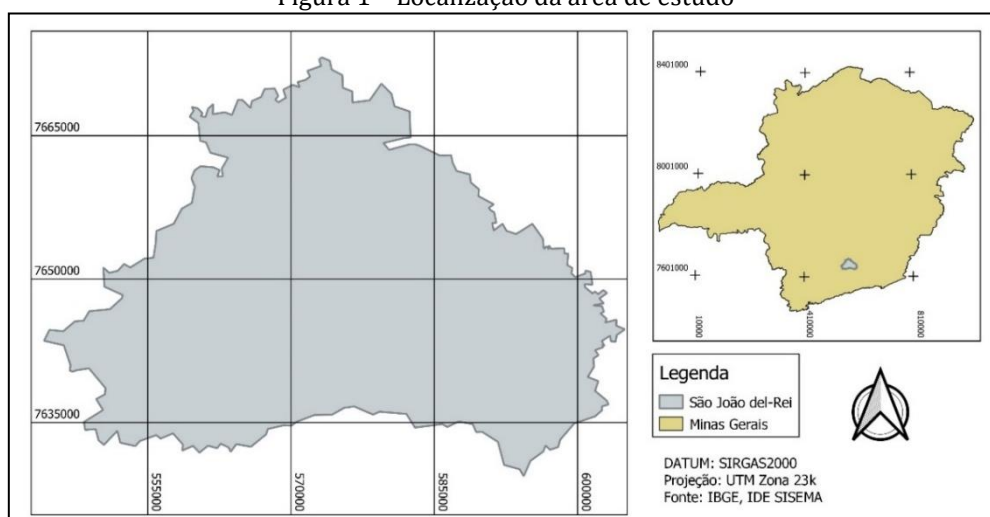
O método da Análise Multicritério pode ser compreendido como apoio à tomada de decisão baseado na análise de alternativas para resolver determinados problemas (FRANCISCO et al., 2007). Desta forma hipotetizamos que a utilização da Análise Multicritério aplicada com o Sistema de Informação Geográfico pode ser útil na definição de locais aptos para a implantação ambientalmente e legalmente correta de um aterro sanitário, tendo em vista as multivariáveis que devem ser consideradas para cada município, e tendo como produto final um mapa com estas áreas espacializadas. Com o exposto, objetivamos mapear as características gerais do município de São João del-Rei/MG bem como as feições específicas predefinidas pelas diretrizes da COPAM DN nº118 que regem normas para a escolha do local adequado para se implantar um aterro sanitário, para que seja possível gerar um mapa síntese com os locais propícios para tal implantação utilizando a Análise Multicritério.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de estudo, São João del-Rei – SJDR- está localizado entre as coordenadas geográficas 21°0'S a 21°30'S e 44°35'W a 44°0'W na mesorregião dos Campos das Vertentes, porção centro-sul do estado de Minas Gerais (Figura 1), está distante 181Km de Belo Horizonte, 428Km da cidade de São Paulo e 347Km da cidade do Rio de Janeiro. A área do município é de 1.452,002km² ou 145.200 hectares, inserida na bacia Hidrográfica do Rio das Mortes (GD2), seu número de habitantes, segundo o Censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE do ano de 2010, é de 84.469 pessoas (IBGE, 2010).

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores de acordo com os dados do IBGE.

Inserido no Bioma Mata Atlântica o município tem por características geomorfológicas um relevo com topo convexo, com alta densidade de drenagem, pertencente ao Planalto dos Campos das Vertentes, composto por rochas Ígneas que abrangem 51,86% do município e rochas metamórficas que abrangem cerca de 47,95% do mesmo, o restante é composto por rocha do tipo sedimentar. O solo predominante no município é o Latossolo, que caracteriza 48,48% da área municipal, seguido do Cambissolo que representa cerca de 42,92% do total. O uso e ocupação do solo de SJDR tem a predominância de área de pastagem que representa 78,87% de seu território. O clima é classificado em tropical de altitude, variando em 14,2°C a 26,3°C (SISEMA,2019).

2.2. BASE DE DADOS CARTOGRÁFICOS

Para criação dos mapas e manipulação dos dados foi utilizado o Sistema de Informação Geográfico Qgis, nas versões 2.18 e 3.16. A base de dados cartográficos para elaboração dos mapas temáticos fora obtida a partir de websites como Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA), TOPODATA, MapBiomias Coleção 5.0, IBGE e EMATER. A tabela 1 mostra os dados que compõem a base de dados e suas respectivas fontes de busca.

Tabela 3 – Aquisição da base de dados cartográficos

Dados	Fonte	Website visitado
Shapefile para mapas de drenagem, solos, rodovias, ferrovias, geologia e fronteira municipal de SJDR	IDE SISEMA	http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/
Raster de Uso e ocupação do solo no Estado de Minas Gerais	MapBiomias Coleção 5.0	http://mapbiomias.org
Modelo Digital de Elevação (mapa de declividade)	TOPODATA	http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/
Valor da terra nua (VTN)	EMATER	https://www.emater.mg.gov.br › Valor Terra Nua

Fonte: Elaborado pelos autores a partir das pesquisas de dados nas bases cartográficas oficiais.

Após a aquisição dos dados necessários, foi realizada a reprojeção de todos para o Sistema de coordenadas oficial do Brasil, o SIRGAS2000, Zona 23K para o município em questão. Com a padronização do DATUM, foi realizado o recorte dos dados para a área de interesse utilizando a ferramenta “Clip” para as informações em vetor e ferramenta “Recortar raster pela camada máscara” para informações em formato Raster.

Com o recorte realizado para o município de SJDR, foram analisados os critérios básicos para a seleção de áreas aptas para instalação de um aterro sanitário, critérios estes baseados no Art. 3º da DN COPAM nº118, 27/2008 e Lei nº 11.428/2006 de proteção à Mata Atlântica. Assim, temos duas classes de mapas a serem gerados, sendo: Mapas Restritivos que são aqueles que representam e espacializam os critérios descritos nas leis aqui citadas as quais permitem a construção de aterros sanitários nos determinados locais, e Mapas não Restritivos ou escalonados que são aqueles que não possuem restrições, porém são avaliados gradualmente em relação à aptidão para instalação de um aterro sanitário. A seguir,

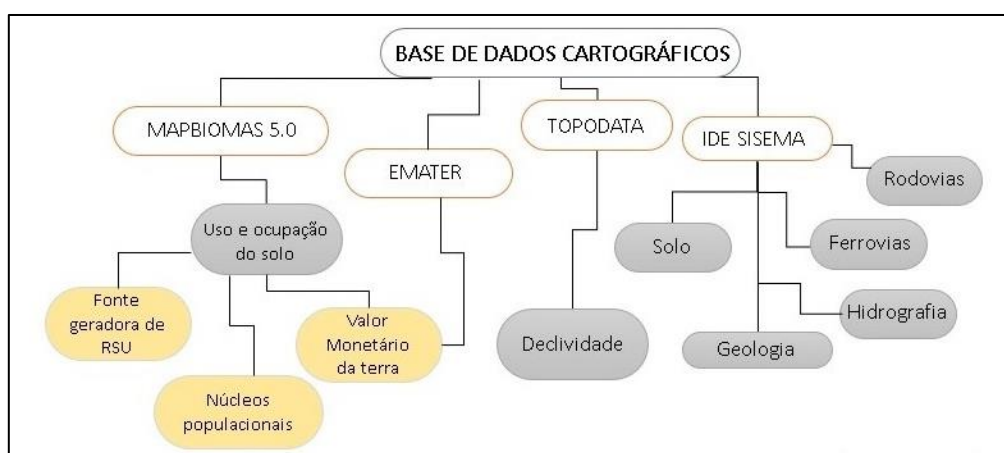
a tabela 2 representa os mapas gerados com suas características e informações complementares.

Tabela 4 – Mapas gerados e suas características

Mapas Restritivos	
<i>Características</i>	<i>Informação complementar</i>
Declividade	inferior a 30% de inclinação
Áreas NÃO situadas em Unidade de Conservação e mancha de Mata Atlântica	--
Distância mínima de ferrovias e dutovias	100m
Distância mínima de Núcleos Populacionais	500m
Mapas não Restritivos ou Escalonados	
<i>Características</i>	<i>Informação complementar</i>
Distância mínima de fonte geradora de resíduos sólidos urbanos (RSU)	500m
Distância mínima de vias de acesso	200m
Distância mínima de corpos hídricos	300m
Permeabilidade do Solo	--
Formação Geológica	--
Valor monetário da terra nua	--


Para a geração dos mapas foi necessário a realização de uma sequência de procedimentos que se basearam nos dados cartográficos do MAPBIOMAS, EMATER, TOPODATA e IDE SISEMA, conforme representado na figura 2.

Figura 2 – Mapas temáticos gerados



Fonte: Autores (2021).

Com as informações cartográficas já reprojetadas e recortadas, deu-se início a elaboração dos mapas com a utilização do software Qgis 3.16. O mapa de uso e ocupação do solo utilizado, para o ano de 2019, foi adquirido no Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomass) coleção 5.0, que utiliza classificadores automatizados para o processamento das imagens de forma rápida, assertiva e atualizada (MAPBIOMAS, 2018). Para elaboração deste mapa foi realizada a análise da legenda pré-definida do MapBiomass para uma



reclassificação que representasse melhor a realidade do município, neste sentido algumas classes foram agrupadas.

A reclassificação foi feita na tabela de atributos com a inserção de uma nova coluna, onde foi inserida uma nova legenda numérica. As classes obtidas foram de mata nativa, agricultura, pastagem, área urbana, área não vegetada, afloramento rochoso e água (corpos hídricos). Com estas classes, foi possível gerar outros mapas com novas informações de interesse a serem manipuladas, como o mapa de valor monetário da terra, que atribui valor em reais (R\$) para cada classe do solo, de acordo com dados da EMATER de valor da terra nua atualizados para o ano de 2019. Para tanto foi criada uma nova coluna na “Tabela de Atributos” do QGis para inserção dos valores monetários de cada classe. Foi possível, também, elaborar os mapas de Distância de fontes geradoras de resíduo sólidos urbanos e Distância de núcleos populacionais a partir da reclassificação do mapa de uso do solo. Para representar as distâncias, foi utilizado a ferramenta “*Buffer*” disponível na área “Vetor” em “Geoprocessamento”. Esta ferramenta permite o cálculo de um *buffer* para as feições selecionadas ao adicionar uma distância, podendo esta ser fixa ou dinâmica.

O mapa de declividade foi gerado a partir de uma imagem “SRTM” (Shuttle Radar Topographic Mission), adquiridas gratuitamente com resolução espacial de 1 arco-segundo (~30m) no site TOPODATA. Para a realização do mapa, utilizou-se a ferramenta “Declividade” disponível dentro da área “Raster” em “Análise”. Assim, foi possível definir as feições da declividade do terreno expressas em porcentagem, e por fim reclassificá-las utilizando a ferramenta “Reclassificar por tabela” para que apresentem apenas informações de declividade acima e abaixo de 30%, condizendo com a Lei vigente.

Os mapas representando os Solos e as formações Geológicas do município de SJDR, foram gerados a partir do recorte para a área de interesse e categorização das informações já presentes na tabela de atributos. As informações foram adquiridas no website do IDE SISEMA, juntamente com as informações dos mapas de Distância de Hidrografia, Ferrovia e Rodovia. Para elaboração dos mesmos foi utilizada a ferramenta “*Buffer*” para definir as distâncias para cada feição dos mapas.

Com o fim da elaboração da base de dados, seguimos para escolha dos pesos de cada classe, etapa necessária no processo de análises multicritérios, que foi definida da seguinte forma: para os mapas restritivos foram atribuídos pesos 0 e 1,

onde 0 representa locais excluídos, não aptos para a instalação de um aterro sanitário seguindo as leis e 1 representa os demais locais, já os mapas não restritivos ou escalonados tiveram seus pesos variando de 0 a 255 (representa a variação das cores em imagens de 8 bits utilizadas no SIG Qgis), onde 0 é um local de risco inexistente para implantação de aterro sanitário e 255 representa um local de grande risco, portanto os pesos foram distribuídos gradativamente seguindo as classes apresentadas em cada mapa. As tabelas a seguir demonstram os pesos adotados para os mapas restritivos e os não restritivos.

Tabela 5 – Classes e pesos adotados para os mapas restritivos

MAPAS RESTRITIVOS				
MAPAS	PROCEDIMENTOS	CLASSES	PESOS	LEI REGULARIZADORA
Declividade	Reclassificação	Acima de 30%	0	DN COPAM nº118, Art. 3º, inciso I
		Abaixo de 30%	1	
Distância de núcleos populacionais	Buffer	Abaixo de 500m	0	DN COPAM nº118 Art. 3º, §2º, inciso IV
		Acima de 500m	1	
Distância de Ferrovias	Buffer	Abaixo de 100m	0	DN COPAM nº118 Art. 3º, §2º, inciso V
		Acima de 100m	1	
Mata Nativa	Reclassificação	Área de Mata Nativa	0	Lei 11.428/2006
		Outras Áreas	1	

Fonte: Elaborado pelos autores a partir das normativas NBR 13.896/97, Lei nº 9.985/2000 e Resolução CONAMA 428/2010.

Tabela 6 – Classes e pesos adotados para os mapas não restritivos

MAPAS NÃO RESTRITIVOS OU ESCALONADOS		
MAPAS	CLASSES	PESOS
Distância de fontes geradoras de Resíduos Sólidos	500m	255
	3000m	150
	5000m	100
	15000m	50
	20000m	30
	35000m	15
Distância de Rodovias	200m	255
	2000m	175
	4000m	130
	6000m	95
	8000m	55
	10000m	25
Distância de Corpos Hídricos	14000m	15
	50m	255
	300m	255
	600m	130
	900m	50
	1200m	20

Permeabilidade dos solos	Cambissolo - CXbd		255
	Neossolo RLd		255
	Afloramento Rochoso - AR		255
	Latossolo - LVAd		130
	Argissolo - PVAd		75
Formação Geológica	Rocha Sedimentar		255
	Rocha Metamórfica		170
	Rocha Ígnea		130
Valor monetário da terra nua em R\$	Mata Nativa	R\$ 5.000,00	255
	Área Urbana	R\$ 20.000,00	255
	Pastagem	R\$ 10.000,00	200
	Agricultura	R\$ 7.000,00	170
	Área não vegetada	R\$ 7.000,00	170
	Afloramento Rochoso	Não Calculado	-
	Água	Não Calculado	-

Fonte: Elaborado pelos autores a partir das normativas NBR 13.896/97, Lei nº 9.985/2000 e Resolução CONAMA 428/2010.

Os pesos definidos foram adicionados às classes dos mapas através da criação de um novo campo na tabela de atributos. Após a inserção dos pesos nos mapas, foi realizada a Rasterização de todos os vetores adotando o pixel de 30m para toda a base de dados. A ferramenta utilizada nesse procedimento foi “converter vetor para raster”.

2.3. ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PESOS (AHP)

Nesta pesquisa foi utilizada a Análise Multicritério que possibilita, a partir da análise de alternativas para a resolução de um determinado problema, gerar modelos para o apoio à tomada de decisão (MOURA, 2007; CABRAL, 2012; ALBUQUERQUE, 2015).

Os procedimentos de modelagem do espaço pela Análise Multicritério são realizados por meio dos Sistemas de Informações Geográficas uma vez que, tal tecnologia é diferenciada pela capacidade de unir dados espaciais com informações alfanuméricas e permitir a visualização por meio de mapas (CABRAL, 2012).

Na aplicabilidade da Análise Multicritério em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é necessário, também, que todos os mapas temáticos utilizados estejam no formato raster, adotando o mesmo tamanho de pixel (MOURA, 2007), assim como a adoção de pesos e influências para os mapas.

A definição dos pesos de cada componente da legenda pode ser definida através da *Analytic Hierarchy Process* (AHP), proposta pelo Professor Thomas Saaty, na Universidade da Pensilvânia em 1978, com o objetivo de auxiliar na “[...] atribuição dos pesos dos planos de informação, para determinar a contribuição relativa de cada um, mas ainda assim o especialista deve definir a hierarquia entre

as variáveis e os pesos de cada componente de legenda das variáveis.” (MOURA, 2007, p. 2903). O método propõe a comparação das variáveis de dois a dois, atribuindo um critério de importância entre eles para o preenchimento da matriz de comparação “par-a-par”. (INPE, 2005; ALBUQUERQUE, 2015; SANTOS, 2017). Os pesos propostos por Saaty e sua definição estão na tabela abaixo:

Tabela 7 – Avaliação de pesos do método AHP para comparação pareada

INTENSIDADE DE IMPORTÂNCIA	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO
1	Importância Igual	Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância Moderada	Um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância Essencial	Um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância Demonstrada	Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância Extrema	A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre julgamentos	Possibilidade de compromissos adicionais.

Fonte: Adaptado de DPI- INPE- Análises Geográficas, 2006.

A construção da matriz baseia-se em uma “[...] matriz quadrada e com valores recíprocos, sendo que na diagonal os valores são unitários, pois cada variável comparada a ela mesma é igual à unidade.” (REZENDE; MARQUES; OLIVEIRA, 2017, p.10)

Com os pesos definidos de acordo com a escala numérica proposta por Saaty (1978), utilizou-se o *Plug in Easy AHP*, disponível na versão 2.18 do software Qgis para processamento dos valores atribuídos para cada um dos mapas não restritivos.

De acordo com Rezende, Marques e Oliveira (2017), após construída a matriz é realizada a comparação com o cálculo da divisão de peso adotado na linha em relação a coluna, pela somatória da coluna em questão. Em uma matriz 6x6, por

exemplo, deve-se somar as linhas com os respectivos pesos, e por fim o total da soma de cada linha deve ser = 6, visto se tratar de uma matriz com 6 variáveis.

Após o cálculo da matriz normalizada, deve-se proceder com a verificação do resultado final que é feita por meio do cálculo do Índice de Consistência (IC) e da Razão de Consistência (RC).

O índice de Consistência (IC) é utilizado para se obter a estimativa em relação aos pesos provenientes da AHP, desta forma o valor do λ_{\max} deve ser próximo do número de variáveis utilizadas. Para tanto utiliza-se a seguinte fórmula:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n - 1)}$$

Para a verificação da Razão de Consistência (RC) é utilizado o índice Randômico (IR) fornecido de acordo o número de variáveis utilizados para a AHP, e seu resultado não pode ser maior que 0. (REZENDE; MARQUES; OLIVEIRA, 2017). A tabela abaixo mostra os valores de pré-definidos de IR. No estudo em questão foram utilizadas 6 variáveis, logo o IR utilizado foi de 1,24.

Tabela 8 – Valores de IR para matrizes

nº variáveis	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Índice Randômico	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Adaptado de SAATY (1980) apud PINESE JÚNIOR (2010).

Assim, é possível calcular o valor de RC utilizando a seguinte fórmula:

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

De acordo com Rezende, Marques e Oliveira (2017, p.11) “Esse processo é importante para demonstrar a coerência (IC) e a confiabilidade (RC) dos dados gerados a partir dos julgamentos dos especialistas e, caso ocorra algum problema nessa investigação, permite que sejam construídos novos pesos.”

Com a posse das variáveis a serem utilizadas e os pesos definidos e validados prossegue-se para a elaboração do mapa final com a indicação dos locais aptos para se instalar um aterro sanitário. Para tal, foi utilizada a ferramenta “Calculadora Raster”, disponível dentro da opção “Raster”, com a fórmula que segue:

$$((MR1 * P1) + (MR2 * P2) + (MR3 * P3) + (MPn * Pn)) * ME1 * ME2 * MEN$$

Onde:

MR: Mapas Restritivos

P: Pesos atribuídos

ME: Mapas Escalonados

Por se tratar de manipulação de dados em um ambiente SIG as informações dos resultados gerados são expressas por valores numéricos: “1”, “2”, “3”, “4” e “5”, que transmitem os valores qualitativos: “Muito Alto”, “Alto”, “Médio”, “Baixo” e “Muito Baixo” respectivamente (MOURA, 2007).

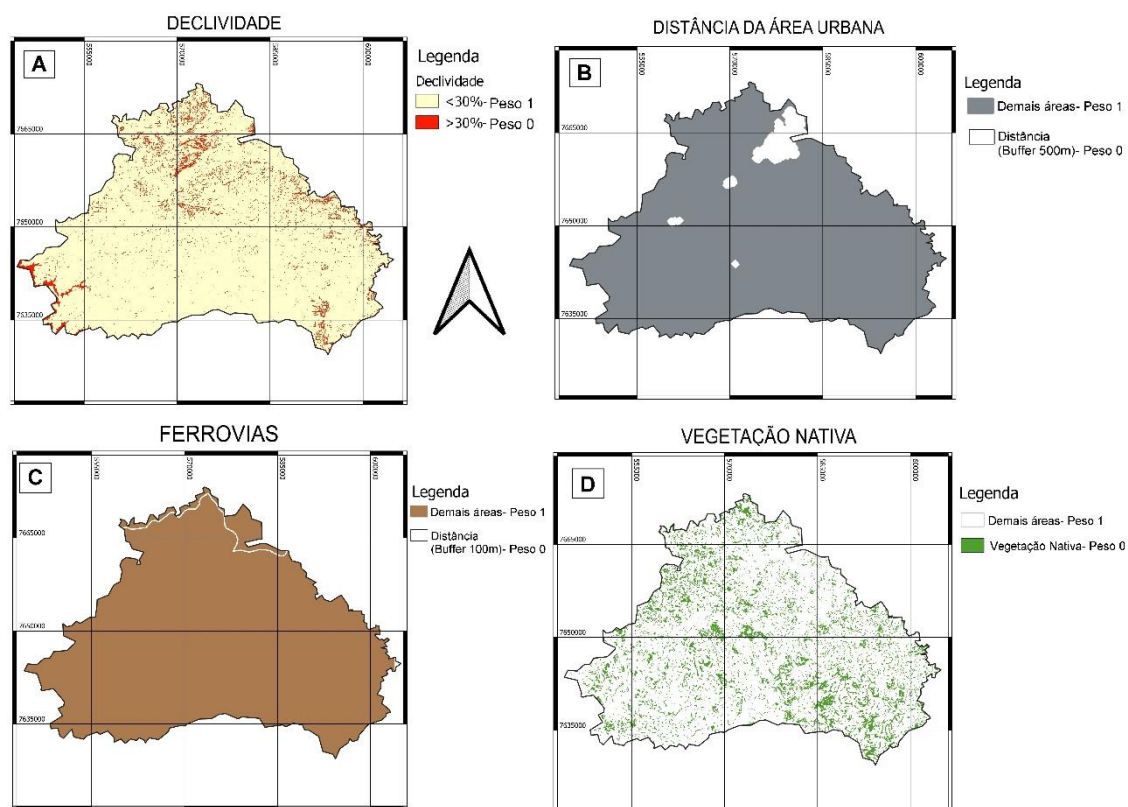
Contudo exposto seguimos para o próximo tópico que irá abordar todos os resultados obtidos na pesquisa.

3. RESULTADOS

3.1. MAPAS RESTRITIVOS

Os Mapas restritivos gerados representam características do município de São João del-Rei, respeitando critérios estabelecidos por leis e normativas. Os mapas criados são de Declividade com duas variáveis representadas, áreas acima de 30% e áreas abaixo de 30% de declive; Mapa de distância de núcleos populacionais, com duas variáveis, sendo áreas abaixo de 500m de distância e acima de 500m de distância dos núcleos populacionais; E por fim, Mapa com a representação da Mata Atlântica nativa. A figura 2 mostra os 4 mapas restritivos gerados.

Figura 2 – Mapas Restritivos gerados



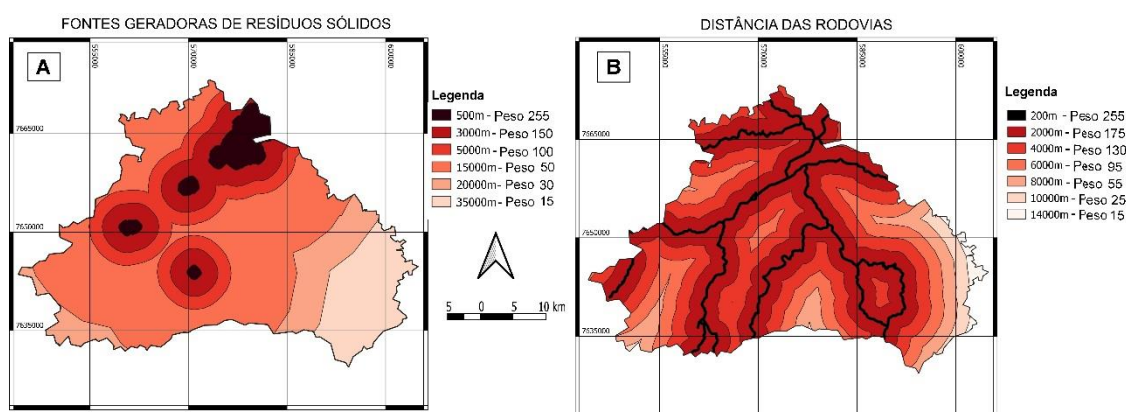
Fonte: Elaborado pelos autores a partir das normativas NBR 13.896/97, Lei nº 9.985/2000 e Resolução CONAMA 428/2010.

Com a manipulação dos dados foi possível constatar que o mapa de declividade apresenta uma área de 5,93% do município com declive superior aos 30%. A distância de 500m da área urbana representa uma porcentagem de 2,48% da área do município, com restrição para se construir um aterro. Já a restrição das Ferrovias, ocupam cerca de 0,52% do total. Por fim, temos a restrição da Vegetação Nativa, que representa 44,96%, cerca de 65.281 hectares. Com as informações, podemos observar que o critério Mata Nativa é o que restringe maior área de SJDR para fins de se construir um aterro sanitário.

3.2. MAPAS NÃO RESTRITIVOS OU ESCALONADOS

Os Mapas não Restritivos gerados, trazem variáveis escalonadas, ou seja, cada variável possui grau de importância maior ou menor em relação ao todo. Os mapas não restritivos são compostos por Mapa de Distância de Corpos Hídricos, Distância de fontes geradoras de Resíduos Sólidos, Distância de Rodovias, Permeabilidade dos solos, Formação Geológica e Valor monetário da terra nua em reais (R\$). A figura 3, 4 e 5 representam os seis mapas produzidos

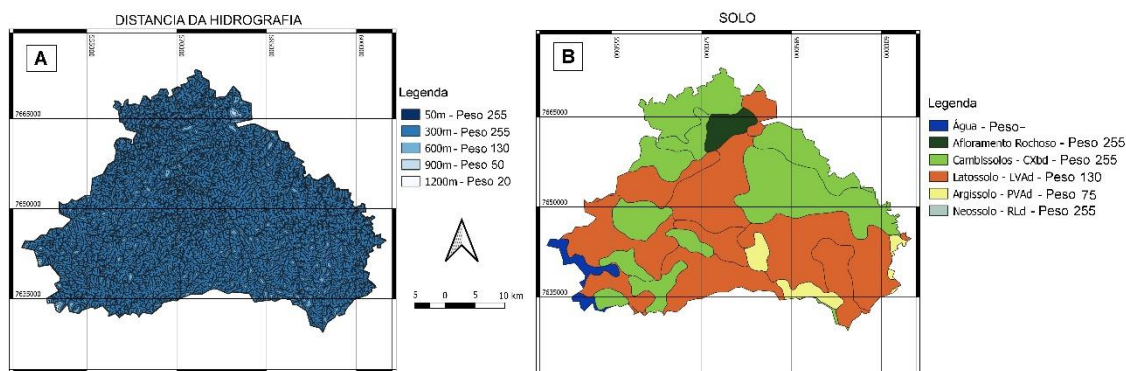
Figura 3 – Mapas Restritivos ou escalonados



Fonte: Elaborado pelos autores a partir das normativas NBR 13.896/97, Lei nº 9.985/2000 e Resolução CONAMA 428/2010.

No mapa de Distância de fontes geradoras de resíduos sólidos, temos que o menor peso (15) representa uma distância de 35.000m e se encontra inteiramente especializado na porção leste do município. O mesmo acontece no mapa de distância das rodovias, ontem temos a classe de menor peso com distância de 14.000m localizada também na porção leste.

Figura 4 – Mapas Restritivos ou escalonados

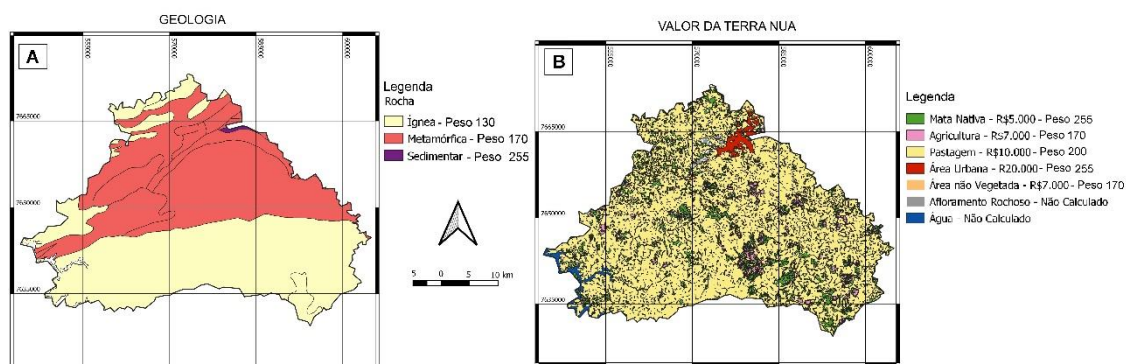


Fonte: Elaborado pelos autores a partir das normativas NBR 13.896/97, Lei nº 9.985/2000 e Resolução CONAMA 428/2010.

O mapa de distância da hidrografia nos mostra que o município é rico em cursos d'água, o que diminui as áreas aptas para se instalar um aterro sanitário, visto que se deve manter uma distancia segura para proteção dos aquíferos. A distancia mais expressiva encontrada foi a de 300m, que se encontra espalhada por toda a área do município. Já a maior distância de 1200m possui uma área de apenas 5,82 hectares.

O mapa de caracterização dos solos do município apresenta solos com grande grau de infiltração como Cambissolo e Neossolo (EMBRAPA,2006) com pesos 255, além do afloramento rochoso que possui o mesmo peso. O solo da região mais propício para suportar a montagem de um aterro sanitário devido a suas características de infiltração e profundidade é o Argissolo que ocupa uma área de 4.865 hectares na região.

Figura 5 – Mapas Restritivos ou escalonados



Fonte: Elaborado pelos autores a partir das normativas NBR 13.896/97, Lei nº 9.985/2000 e Resolução CONAMA 428/2010.

O mapa geológico apresenta três formações rochosas presentes na região, sendo rocha Ígnea, metamórfica e sedimentar. Destas, a rocha ígnea é a mais propícia para se instalar um aterro sanitário por possuir como características ser uma rocha maciça com boa resistência mecânica e cristais bem formados (CPRM, 2015), deste modo não permite que haja infiltração de chorumes e posterior contaminação do lençol freático. Para o mapa de valor da terra temos a pastagem como classe predominante no município. Ela se encontra espacializada em todo o território e possui um valor monetário acessível, desta forma foi adotado menor peso de influência, traduzindo a possibilidade de instalação de um aterro sanitário.

3.3. MAPA DE APTIDÃO PARA INSTALAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO

Com o auxílio da ferramenta Easy AHP e utilizando os parâmetros propostos por Saaty (consultar tabela 4), foi possível atribuir valores e assim, gerar os pesos para cada variável. Abaixo segue tabela com as os valores atribuídos para cada mapa e os pesos resultantes da matriz de comparação.

Tabela 9 – Matriz de comparação dos critérios e seus pesos

FATOR	A	B	C	D	E	F	Pesos
A	1,0	0,333	0,333	0,333	0,333	0,200	0,049
B	3,0	1,0	0,333	0,333	0,333	0,333	0,085
C	3,0	3,0	1,0	0,333	0,333	0,333	0,120
D	3,0	3,0	3,0	1,0	0,333	0,333	0,165
E	3,0	3,0	3,0	3,0	1,0	0,333	0,228
F	5,0	3,0	3,0	3,0	3,0	1,0	0,353

A-Distância de Corpos Hídricos; B- Distância de fontes geradoras de Resíduos Sólidos;

C- Distância de Rodovias; D- Permeabilidade dos solos;

E- Formação Geológica; F- Valor monetário da terra nua em reais (R\$)

Fonte: Autores (2021).

Em seguida foi realizada a verificação do resultado final feita por meio do cálculo de Índice de Consistência (IC) e da Razão de Consistência (RC). Os resultados obtidos na verificação foram:

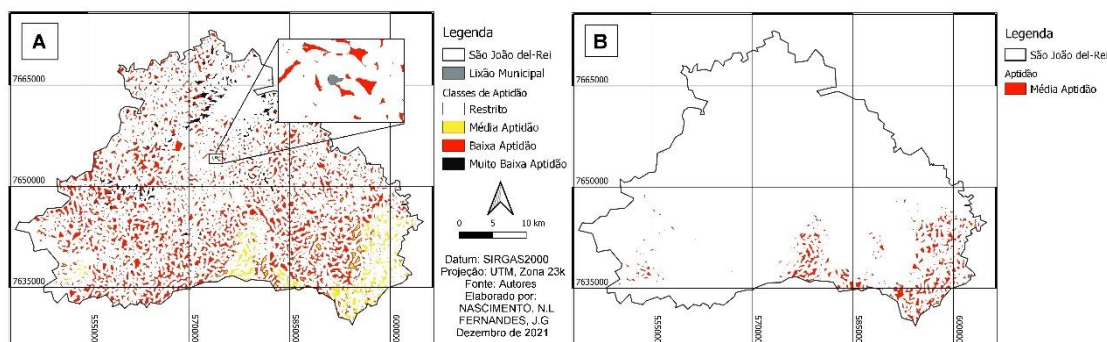
$\lambda = 6.611$	IC=0.122	RC= 0.098
-------------------	----------	-----------

O valor do Lambda Max. deve ser próximo ao número de variáveis utilizadas na matriz, desta forma, fica evidente que a matriz foi validada por se tratar de uma

matriz 6x6. Outra validação é através do RC, que deve necessariamente ser maior que 0. Desta forma, validamos a matriz.

De posse dos pesos, foi realizado cálculo de multiplicação dos mesmos com os mapas gerados através da ferramenta “calculadora raster”. Os resultados obtidos com a álgebra de mapas foram expressos pelos números 3, 4 e 5, que tem significado “média aptidão”, “Baixa Aptidão” e “Muito Baixa Aptidão”. O resultado final com as áreas propícias para se instalar um aterro sanitário se apresenta na figura 6.

Figura 6 – Classes de aptidão para instalação de um aterro sanitário



Fonte: Elaborado pelos autores a partir das normativas NBR 13.896/97, Lei nº 9.985/2000, Lei nº 12.725/ 2012 e Resolução CONAMA 428/2010.

A figura 6.A representa todas as classes de aptidão resultantes. Assim temos que 16,64% da área do município se encontram com aptidão para a instalação do aterro, destes, 2,18% apresenta média aptidão (cerca de 3.175 hectares), 13,17% apresenta baixa aptidão e 1,28% apresenta muito baixa aptidão. A Figura 6.B evidencia as áreas de média aptidão, que podem ser escolhidas como corretas e com menor impacto possível para o meio ambiente no município de SJDR.

4. DISCUSSÕES

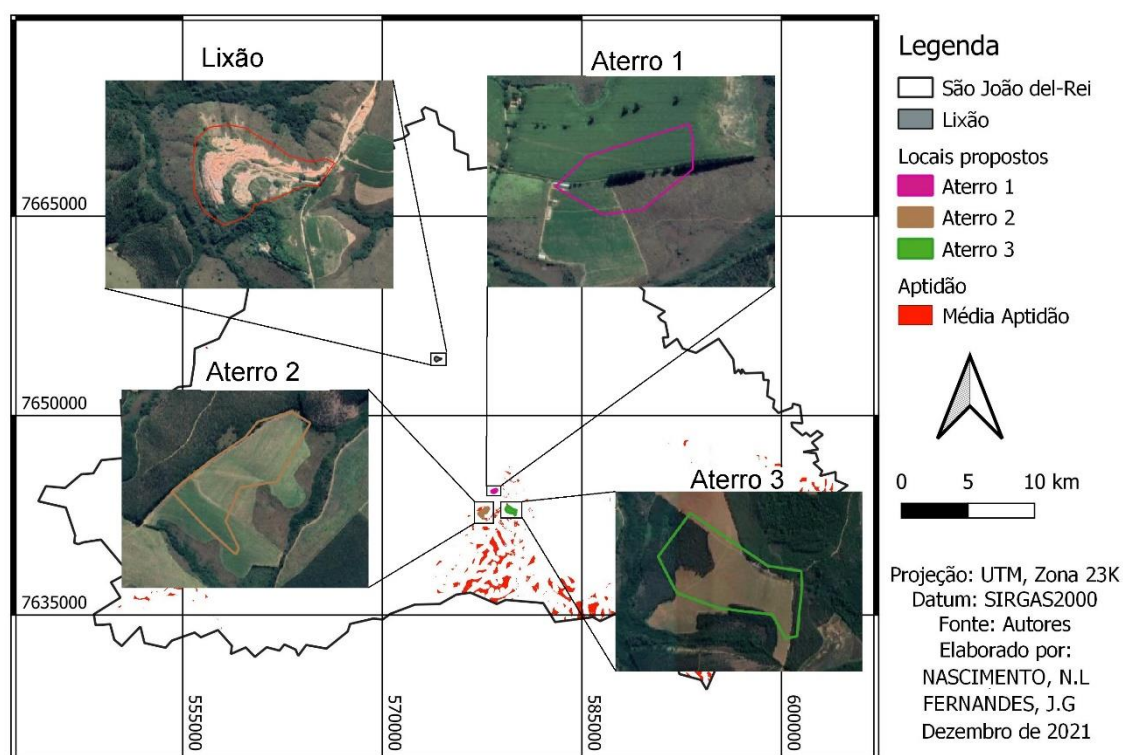
O município de São João del-Rei tem a disposição final dos resíduos Sólidos gerados em um lixão desde o ano 2005, onde são coletadas cerca de 95 T/ dia de lixo como estimativa para o ano de 2015. (SÃO JOÃO DEL REI TRANSPARENTE, 2011; SILVA *et al.*, 2015). A figura 6.A indica a localização do lixão existente na cidade de SJDR, que área em cerca de 11 hectares. Como é possível perceber o lixão se encontra inserido ao entorno de nascentes e cursos d’água, sendo estes locais restritos, de acordo com as leis vigentes. Em entrevista ao G1, Zona da Mata (2014), o Doutor Leonardo Rocha, professor e pesquisador da Universidade Federal de São João del-Rei afirma que não houve nenhum estudo prévio para a instalação do lixão local, que

está localizado em uma das maiores áreas de recarga hídrica do município. Logo, o lixão deveria ser desativado e ter sua área recuperada ambientalmente para que possa haver a construção de um aterro sanitário em local adequado.

É notório a falta de referencial teórico e estudos a cerca da temática “resíduos Sólidos” para o município de SJDR. Desta forma os resultados aqui encontrados poderão servir como auxílio na tomada de decisão para órgãos públicos e prefeitura municipal no tocante à escolha do local adequado para instalação do aterro sanitário.


Desta forma, dentro das áreas de média aptidão obtidas no resultado da AHP, pode-se destacar alguns locais específicos que poderão ser particularmente estudados em trabalhos futuros e finalmente utilizados para a instalação do aterro. A figura a seguir indica os melhores locais para escolha da implantação do aterro, bem como vista do local onde se encontra o lixão.

Figura 7 – Locais propostos para construção de um aterro sanitário



Fonte: Elaborado pelos autores a partir das normativas NBR 13.896/97, Lei nº 9.985/2000, Lei nº 12.725/ 2012 e Resolução CONAMA 428/2010.

Foram escolhidos três locais para serem propostos à construção de um aterro sanitário. Os locais se caracterizam por área de pastagem e presença de floresta plantada eucalipto, detectados através da imagem de satélite Landsat 8, datada de maio de 2021. As áreas foram escolhidas por estarem de acordo com as normas e



leis vigentes, segundo os resultados obtidos nesta pesquisa, e por situarem mais próxima de estradas para facilitar a logística de carga/ descarga do lixo.

As áreas ocupadas nos locais propostos de implantação do aterro 1, 2 e 3 possuem respectivamente 6,98ha, 24,88ha e 27,36ha. Desta forma, um estudo aprofundado nestas áreas em específico deve ser realizado de forma a concretizar sua validação frente à real aptidão.

5. CONCLUSÃO

A legislação Nacional e Estadual propõe leis, deliberações e normas para conservação e preservação do meio ambiente, no entanto, fica claro que tais impactos, com enfoque nos resíduos Sólidos acontecem no âmbito dos municípios, principalmente onde há concentração populacional/consumo. Portanto, sugestões e soluções para a problemática do descarte do Resíduo Sólido, que afeta muitas cidades, é de suma importância, a começar pela escolha do melhor local para se instalar um aterro sanitário que é a forma de destinação adequada, e enfim deixar a realidade do lixão a céu aberto de lado.

Assim, com a metodologia de Análise Multicritério e validação da Matriz de comparação e seus pesos por meio das fórmulas aplicadas nos valores adquiridos possibilitou a confiabilidade do mapa síntese de áreas aptas para construção de um aterro sanitário gerado. O resultado final expressa que 16,64% da área total do município está apta para receber um projeto de aterro sanitário. Este valor representa mais de 240 hectares disponíveis para escolha do melhor local.

A ferramenta utilizada foi útil, visto se tratar de uma problemática com multivariáveis e multicritérios. Apesar de não mostrar a realidade absoluta devido ao agrupamento de características específicas e por se tratar de uma área relativamente grande, onde as feições representadas podem apresentar uma subjetividade, os resultados contribuíram para a escolha de um local propício para a construção do aterro.

REFERÊNCIAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (São Paulo). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. São Paulo: Projeto Gráfico: Porta Romana Studio, 2020. 52 p.

ABETRE. **Atlas da destinação final de resíduos – brasil 2020**. 2020. Disponível em: <https://abetre.org.br/atlas-da-destinacao-final-de-residuos-brasil-2020/>. Acesso em: 10 nov. 2021.

ALBUQUERQUE, Sabrina Moreira de. **Modelagem de alternativas de traçado de ferrovias com uso de ferramentas de SIG e parâmetros geoambientais**. 2015. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Geociências Aplicadas, Universidade de Brasília - Unb, Brasília, 2015.

AMORIM, Aline Pinto et al. **Lixão municipal: abordagem de uma problemática ambiental na cidade do Rio Grande: RS**. Universidade Federal do Rio Grande – Furg, Rio Grande do Sul, v. 15, n. 1, p. 159-178, 15 jan. 2010.

BRASIL. Congresso. Senado. Constituição (2010). **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF, 02 ago. 2010.

BRASIL. Constituição (2006). **Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Brasília, DF, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm. Acesso em: 26 nov. 2021.

CABRAL, Adilson Vaz. **Análise Multicritério em sistemas de informação geográfica para a localização de aterros sanitários: O caso da região sul da ilha de Santiago, Cabo Verde**. 2012. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Lisboa, 2012.

COPAM. **Deliberação Normativa Copam Nº118**, 27 de Junho de 2008. Belo Horizonte, MG, 27 jul. 2008. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=7976>. Acesso em: 11 nov. 2021.


COSTA, Tancio Gutier Ailan; IWATA, Bruna de Freitas; CASTRO, Camila Portela de; COELHO, Juliana Vogado; CLEMENTINO, Gleide Ellen dos Santos; CUNHA, Laécio Miranda. **Impactos ambientais de lixão a céu aberto no Município de Cristalândia, Estado do Piauí, Nordeste do Brasil**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, [S.L.], v. 3, n. 4, p. 79, 2016. Revista Brasileira de Gestao Ambiental e Sustentabilidade. <http://dx.doi.org/10.21438/rbgas.030408>.

CPRM. **Rochas**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/CPRM-Divulga/Canal-Escola/Rochas-1107.html>. Acesso em: 30 nov. 2021.

EMBRAPA, **Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos da Zona Campo das Vertentes** – MG, Rio de janeiro, 2006.

FRANCISCO, Carlos Eduardo da Silva.; COELHO, Ricardo Marques.; TORRES, Roseli Buzanelli.; DAMI, Samuel Fernando. **Espacialização de análise**





multicriterial em SIG: prioridade para recuperação de Áreas de Preservação Permanentes. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. Anais...São José dos Campos: INPE, 2007, p.2643-2650.

G1. ZONA DA MATA. Aterro controlado é destino de toneladas de lixo em São João del Rei. jul. 2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2014/07/aterro-controlado-e-destino-de-toneladas-de-lixo-em-sao-joao-del-rei.html>. Acesso em: 03 dez. 2021

INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais, Divisão de Processamento de Imagens. **Análise Geográfica**, 2005. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/analise.html>. Acesso em: 20 nov. 2021.

Mapeamento anual da cobertura e uso do solo no Brasil (MAPBIOMAS). **MapBiomass**. 2018a. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 08 set. 2021.

MOURA, Ana Carolina de Oliveira Salgueiro de et. al. **Lixo: o que nós temos a ver com isso?** Rio Grande: NEMA, 2006.

MOURA, Ana Clara Mourão. **Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE.


PINESE JÚNIOR, J.F. **Aplicação do método de análise hierárquica – AHP – para a determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade, MG.** Uberlândia: UFU, 2010. (Monografia)

PIRES, Yolanda; OLIVEIRA, Nelson. **Aumento da produção de lixo no Brasil requer ação coordenada entre governos e cooperativas de catadores.** 2021. Agência Senado. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2021/06/aumento-da-producao-de-lixo-no-brasil-requer-acao-coordenada-entre-governos-e-cooperativas-de-catadores>. Acesso em: 10 nov. 2021.

REZENDE, Patrícia Soares; MARQUES, Daniela Vieira; OLIVEIRA, Luiz Antônio de. **Construção de modelo e utilização do método de processo analítico hierárquico – ahp para mapeamento de risco á inundação em área urbana.** Caminhos de Geografia - Revista Online, Uberlândia, v. 8, n. 61, p. 1-18, 17 mar. 2017.

SANTOS, T. G. **Modelagem como apoio ao planejamento urbano ambiental e a redução de riscos na bacia do córrego do lenheiro.** 2017. 121 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia Bacharelado, Departamento de Geografia, Universidade Federal de São João Del- Rei, Sao Joao del Rei, 2017. Cap. 3. Disponível em: <https://www.ufsj.edu.br/porta2-repositorio/File/bdgc/tcc_final.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2021.





SILVA, Kayque Souza et al. **Política Nacional de Resíduos Sólidos: O viés social da lei e as perspectivas em relação aos catadores**. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Porto Alegre/Rs -, 6., 2015, Porto Alegre. Anais [...]. Porto Alegre: Ibeas – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2015. p. 1-7.

SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: **IDE-Sisema**, 2019. Disponível em: idesisema.meioambiente.mg.gov.br. Acesso em: 20 nov. 2021.

Senado Federal. **Aumento da produção de lixo tem custo ambiental**. 2020. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/residuos-solidos/mundo-rumo-a-4-bilhoes-de-toneladas-por-ano>. Acesso em: 12 nov. 2021.





CAPÍTULO VIII

MAPEAMENTO E ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE PARACATU – MG

DOI: 10.51859/ampla.aca955.1122-8

Samara Pimentel Pereira

Discente do Curso de Especialização em Geoprocessamento
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM
samara.pimentell@gmail.com

Gabrielly L. Oliveira Silva

Discente do Curso de Especialização em Geoprocessamento
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM
eng.gabioliveira@gmail.com

Maytê Maria Abreu Pires de Melo Silva

Professora Doutora em Agronomia
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM
mayte@iftm.edu.br

Vera Lúcia Abdala

Professora Doutora em Agronomia
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM
vlabdala@iftm.edu.br

Daniel Pena Pereira

Professor Doutor em Produção Vegetal
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM
danielpena@iftm.edu.br





RESUMO

Em busca do atendimento às demandas que surgem ao longo dos anos, o município de Paracatu vem se modificando. Neste sentido, a integração de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento configuram-se como ferramentas de grande importância para realização de análise espaço-temporal, pois carregam informações essenciais para estudos de gestões ambientais, avaliações de biodiversidade, bem como dados que podem servir de apoio a decisões de ações ambientais, sociais, políticas e econômicas. Por conseguinte, este trabalho tem como objetivo analisar, a partir do mapeamento, a evolução do uso e cobertura do solo do município de Paracatu-MG nos períodos de 1988, 1998, 2008 e 2019. Para tanto, utilizou-se de arquivos do banco de dados do IBGE e MapBiomas, bem como do *software* QGIS e os *plug-ins* Molusce e SCP. Dos resultados obtidos observa-se a predominância de ocupação do solo pelas classes: floresta, pastagem e agricultura. As classes de infraestrutura urbana, mineração e solo nu, somam juntas, menos de 1% do território em todos os períodos analisados. Constata-se o aumento das áreas de corpos d'água com o passar dos anos e a atenuação do desmatamento, indicando assim um ordenamento do solo em estudo.


Palavras-chave: Geoprocessamento. Sig. Cobertura do solo. Molusce. Qgis.

1. INTRODUÇÃO

Em busca do atendimento às demandas de modelo econômico, social e político, ao longo dos anos, o município de Paracatu vem se modificando. No entanto, transformações quando não bem planejadas e executadas podem provocar um desequilíbrio ecológico potencializado por ações antrópicas, gerando assim a degradação do meio ambiente. Desta forma, o efeito reverso ao esperado, com a redução da qualidade de vida da população, pode ser obtido como resultado destas transformações.

Neste sentido, a integração de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento, através dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG"s), configuram-se como ferramentas de grande importância para realização de análise espaço-temporal capazes de fornecer informações sobre a superfície da Terra, contribuindo, portanto, para o monitoramento de áreas em diferentes escalas de mapeamento, a incluir as mudanças de uso e cobertura do solo ao longo dos anos.

As análises temporais com mapeamentos de cobertura do solo têm o propósito de levantar as modificações ocorridas em uma determinada área ao longo do tempo e, conforme esclarecem Souza, Teixeira e Silva (2009), carregam informações essenciais para estudos de gestões ambientais, avaliações de



biodiversidade, bem como dados que podem servir de apoio a decisões de ações ambientais, sociais, políticas e econômicas.

Apesar do conceito simples do ato de mapear dados, há inúmeros fatores que devem ser controlados para que sejam alcançados resultados satisfatórios e adequados na detecção de mudanças na cobertura do solo. De acordo com Campbell e Wynne (2011), as imagens obtidas devem ser de um mesmo sensor e com registros precisos submetidos à correção de efeitos atmosféricos e, quando as imagens forem de anos distintos, os dados devem ser da mesma estação para minimizar as suas diferenças. A partir dos dados de imagens coletados de maneira correta e de posse dos arquivos vetoriais e/ou raster disponíveis para a região em estudo, é possível proceder a análise de mudanças com o uso de ferramentas SIG.

Santos e Santos (2010) complementam destacando que este tipo de mapeamento utilizado para conhecer as mudanças que ocorrem na paisagem permite a obtenção de informações que fomentam a construção de cenários ambientais e indicadores, como subsídios de avaliação da capacidade de suporte ambiental e diretrizes para o crescimento urbano. Dessa forma, é possível direcionar práticas aliadas a uma condução adequada de um conjunto de diferentes estratégias visando a sustentabilidade da região estudada.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar, a partir do mapeamento, a evolução do uso e cobertura do solo do município de Paracatu-MG, considerando o período de três pares de séries espaçadas em dez anos, indicando, portanto, as mudanças em uma escala temporal total de 30 anos.

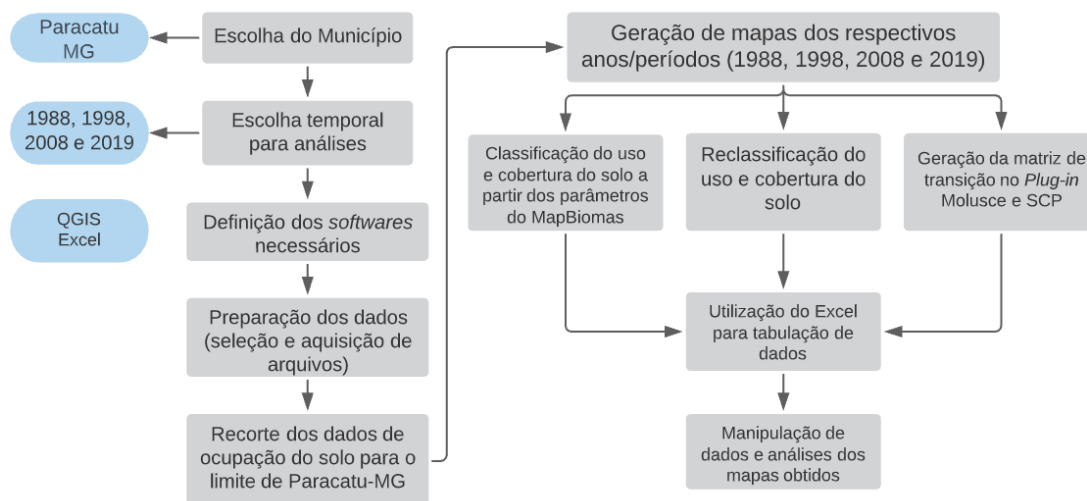
Entende-se, portanto, que a presente pesquisa poderá contribuir para a criação de estratégias e tomadas de decisões por parte dos agentes envolvidos no planejamento urbano do município de Paracatu, potencializando escolhas que permitam um desenvolvimento local sustentável, um crescimento econômico eficiente e política pública de qualidade. Ademais, trazer para os centros de discussões as características de ocupação do solo da região permitirá que a comunidade acadêmica local endosse os conhecimentos adquiridos, enriquecendo assim o material de pesquisa de instituições de ensino, além de proporcionar um aperfeiçoamento das autoras no campo da pesquisa científica voltada a área de geoprocessamento.

2. METODOLOGIA

2.1. ETAPAS DA PESQUISA

Para uma melhor compreensão de todos procedimentos metodológicos envolvidos no presente trabalho, a Figura 1, apresenta o caminho realizado para atingir o proposto.

Figura 8 – Fluxograma das etapas da pesquisa

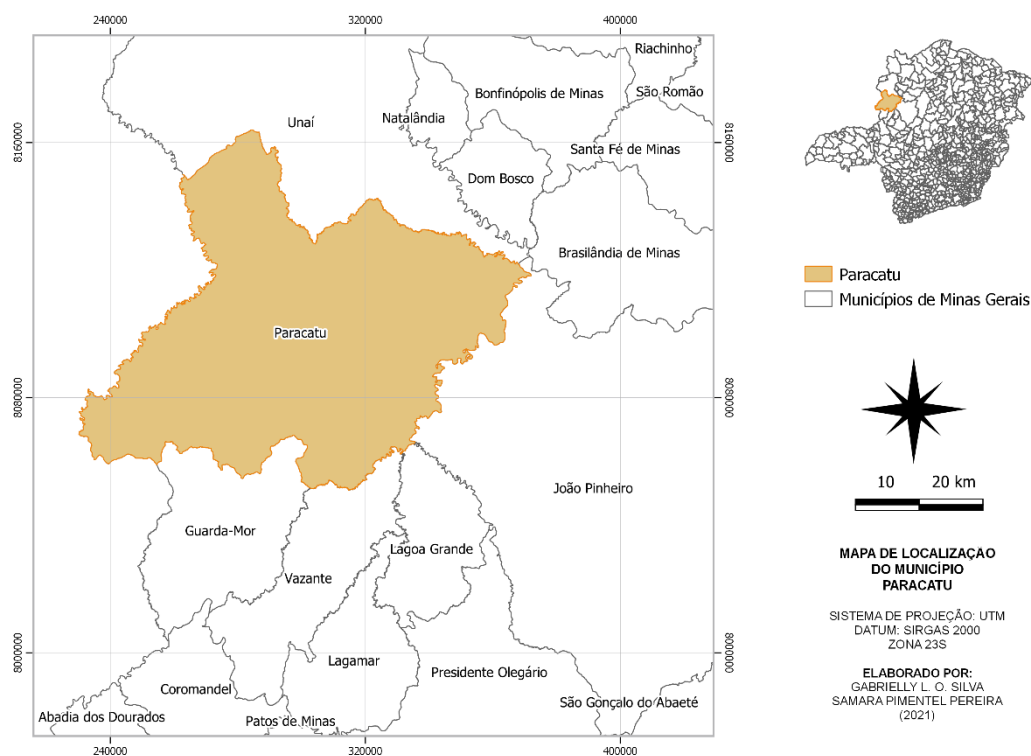


Fonte: Autoria própria (2021).

2.2. DESCRIÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A área em estudo se limita ao polígono urbano do município de Paracatu, situada na Mesorregião do Noroeste Mineiro, estado de Minas Gerais, conforme apresenta a Figura 2, e delimitada pelas coordenadas geográficas 17°08'43" Sul e 46°50'37" Oeste, Latitude -17,2225 e Longitude -46,8752 (IBGE, 2021).

Figura 2 – Localização do município de Paracatu-MG




Fonte: Autoria própria (2021).

O município de Paracatu surgiu como um povoado em meados dos anos 1690 e 1710, descoberto a ouro, atração esta exercida pela abundância com que este fluía nos depósitos de aluvião encontrados facilmente nos diversos córregos do município e que contribuiu para o acelerado crescimento do Arraial de São Luiz e Sant'Anna das Minas do Paracatu. Após período de grande crescimento, em 1798 o arraial foi elevado a vila com o nome de Paracatu do Príncipe. A súbita riqueza logo se dissipou e o declínio produtivo do ouro aluvial provocou a decadência econômica da vila. Em 1840 Paracatu é elevada a cidade. Seu crescimento é retomado com base na agropecuária e vivendo uma efervescência cultural no século XIX. Em meados do século XX, com a construção de Brasília, a região tomou novo impulso e Paracatu beneficiou-se da situação de estar localizada às margens da BR-040 (GAMA, 2015).

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 1988 o município apresentava população absoluta de 59.041; no ano de 1998 a população total se igualou a 71.480; em 2008 o município apresentava população absoluta de 82.850 habitantes e, em 2019, a população chegava a 93.158 habitantes (IBGE, 2021).

Mais de 200 anos depois de seu surgimento, localizada às margens da Rodovia BR-040 e MG-188, a vocação mineradora de Paracatu continua sendo a



marca da cidade, que conta com reservas de ouro (maior mina de ouro do Brasil em volume e em área de extração), zinco, calcário e chumbo. A agropecuária é também uma importante atividade para a economia. Paracatu possui mais de 40 mil hectares de área irrigada, com produção mecanizada de soja, milho e feijão, além da fruticultura, café e algodão. O município é destaque em Minas Gerais e no Brasil por sua economia, pela moderna produção de ouro e grãos e também pela pecuária (PREFEITURA MUNICIPAL DE PARACATU, 2021).

A cidade vem se desenvolvendo como um grande polo turístico e cultural, tendo sido tombada em 2010 pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) como patrimônio cultural brasileiro. O principal rio de Paracatu originou o nome do município (Rio Paracatu), pertencendo à Bacia do São Francisco. A região é rica em veredas de buritis, que são os nascentes naturais dos cursos d'água que formam ribeirões e rios. Predomina, em Paracatu, a vegetação típica do cerrado, com matas de galeria à beira de rios. A área total do município é de 8.231,029 km², a população total estimada em 2021 igual a 94.539 habitantes e o PIB per capita em 2018 igual a R\$ 46.629,49 (IBGE, 2021).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A partir da definição do município a ser estudado, para que fosse possível realizar a proposta do mapeamento temporal de cobertura do solo, definiu-se, em um primeiro momento, o *software* QGis em sua versão 3.10.14 como principal ferramenta deste estudo por se tratar de um *software* livre e de fácil acesso. Ademais, foram selecionados quatro distintos anos, sendo estes 1988, 1998, 2008 e 2019. Os referidos anos foram determinados visando contemplar o período inicial da mineração de ouro de forma empresarial no município, bem como de modo a abranger dados atuais.

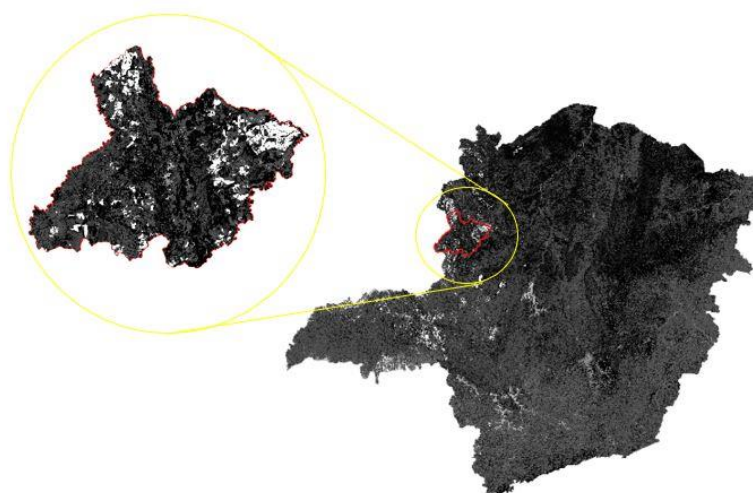
Na etapa seguinte, objetivando a preparação dos dados e coleta de informações, recorreu-se ao acervo do IBGE e do MapBiomas para que fosse possível obter o arquivo vetorizado (*shapefile*) da delimitação do município de Paracatu-MG e os arquivos de imagem (*rasters*) de uso e cobertura do solo do estado de Minas Gerais referentes aos anos pré-definidos, respectivamente. Destaca-se que o MapBiomas é uma plataforma Web de consulta pública tida como uma rede colaborativa com especialistas em biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG

e ciência da computação, que disponibiliza imagens do satélite Landsat com resolução de 30x30 pixels (MAPBIOMAS, 2021).

Ainda na preparação de dados, segundo Câmara *et al* (1996), as imagens são relacionadas com coordenadas de figuras (linhas e colunas) originando coordenadas de um Sistema de Referência. Nesse sentido para refinar as imagens de satélites, os arquivos *rasters* de uso e cobertura do solo do estado de Minas Gerais foram georreferenciadas no Sistema de Projeção Universal Transversal de Mercador (UTM), Zona 23 Sul, com Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000) – *South American* e Grupo de pesquisa Petrolífera Europeia (EPSG) 31983.

Após os ajustes do sistema de projeção dos arquivos de imagem, prosseguiu-se com o recorte do conjunto de dados para o limite estabelecido da região em estudo através da ferramenta “recortar *raster* pela camada de máscara”, conforme exemplo da Figura 3.

Figura 3 – Exemplo de recorte da cobertura do solo para o município de Paracatu-MG referente ao ano de 1988



Fonte: Autoria própria (2021).

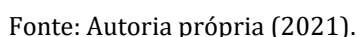
De posse das imagens referentes aos anos 88, 98, 08 e 19 recortadas contemplando apenas a delimitação do município, foram realizadas as classificações de ocupação do solo a partir dos parâmetros do MapBiomas utilizando o código de legenda coleção 5, com posterior reclassificação de modo a agrupar as diferentes classes que foram tidas como semelhantes, facilitando assim análises posteriores (Figura 4).

1. Floresta	1. Forest	1
1.1. Floresta Natural	1.1. Natural Forest	2
1.1.1. Formação Florestal	1.1.1. Forest Formation	3
1.1.2. Formação Savânica	1.1.2. Savanna Formation	4
1.1.3. Mangue	1.1.3. Mangrove	5
1.2. Floresta Plantada	1.2. Forest Plantation	9
2. Formação Natural não Florestal	2. Non Forest Natural Formation	10
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa	2.1. Wetland	11
2.2. Formação Campestre	2.2. Grassland	12
2.3. Apicum	2.3. Salt Flat	32
2.4. Afloramento Rochoso	2.4. Rocky Outcrop	29
2.5. Outras Formações não Florestais	2.5. Other non Forest Formations	13
3. Agropecuária	3. Farming	14
3.1. Pastagem	3.1. Pasture	15
3.2. Agricultura	3.2. Agriculture	18
3.2.1. Lavoura Temporária	3.2.1. Temporary Crop	
3.2.1.1. Soja	3.2.1.1. Soy bean	39
3.2.1.2. Cana	3.2.1.2. Sugar Cane	20
3.2.1.3. Outras Lavouras Temporárias	3.2.1.3. Other Temporary Crops	41
3.2.2. Lavoura Perene	3.2.2. Perennial Crop	36
3.3. Mosaico de Agricultura e Pastagem	3.3. Mosaic of Agriculture and Pasture	21
4. Área não Vegetada	4. Non vegetated area	22
4.1. Praia e Duna	4.1. Beach and Dune	23
4.2. Infraestrutura Urbana	4.2. Urban Infrastructure	24
4.3. Mineração	4.3. Mining	30
4.4. Outras Áreas não Vegetadas	4.4. Other Non Vegetated Areas	25
5. Corpos D'água	5. Water	26
5.1. Rio, Lago e Oceano	5.1. River, Lake and Ocean	33
5.2. Aquicultura	5.2. Aquaculture	37
6. Não Observado	6. Non Observed	21

Fonte: Autoria própria (2021)

Os dados obtidos do processamento foram tabulados utilizando o *software* Excel 2020, bem como foram gerados os mapas das análises de comportamento e mudança da ocupação do solo do município de Paracatu.

a) com o uso do Molusce b) com o uso do SCP

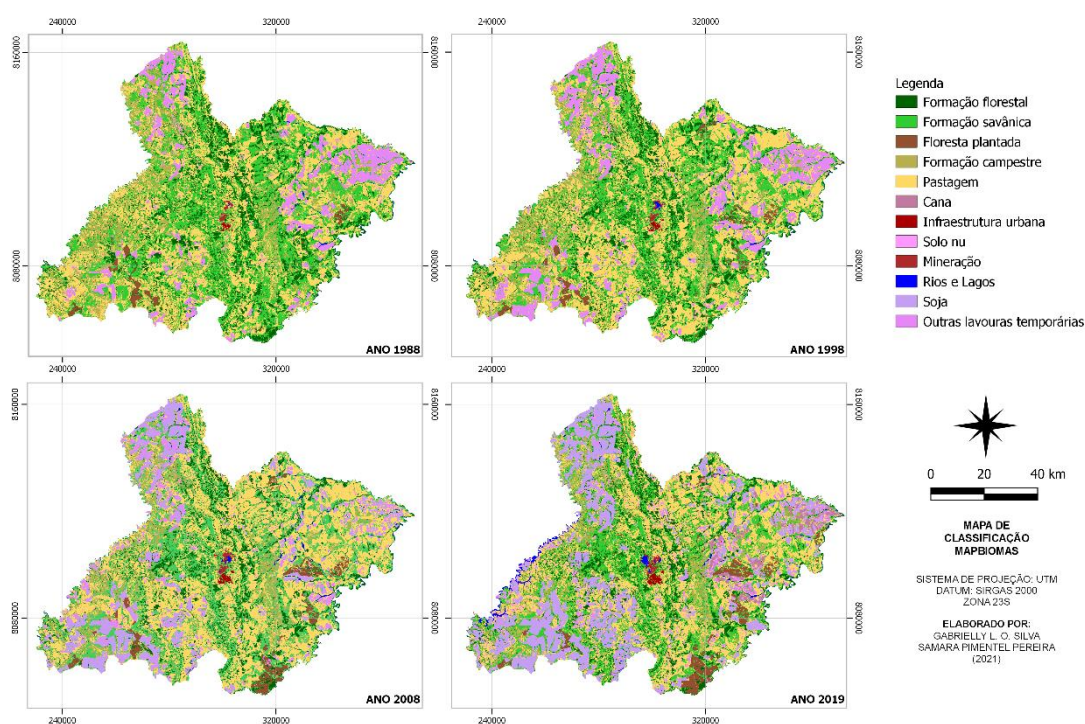


4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CLASSIFICAÇÃO DE USO E COBERTURA DO SOLO

A espacialização dos dados referente ao uso e cobertura do solo no município de Paracatu-MG gerou, nos períodos analisados, doze classes distintas a saber: formação florestal, formação savânica, floresta plantada, formação campestre, pastagem, lavoura temporária de cana, infraestrutura urbana, solo nu, mineração, rios e lagos, lavoura temporária de soja e outras lavouras temporárias, conforme apresenta a Figura 6. Cabe destacar que a ocupação de lavoura temporária de cana aparece apenas na classificação do ano de 2019 e que a classificação de lavoura temporária de soja surge a partir do mapa referente ao ano de 2008.

Figura 6 – Classificação MapBiomias referente aos anos 1988, 1998, 2008 e 2019



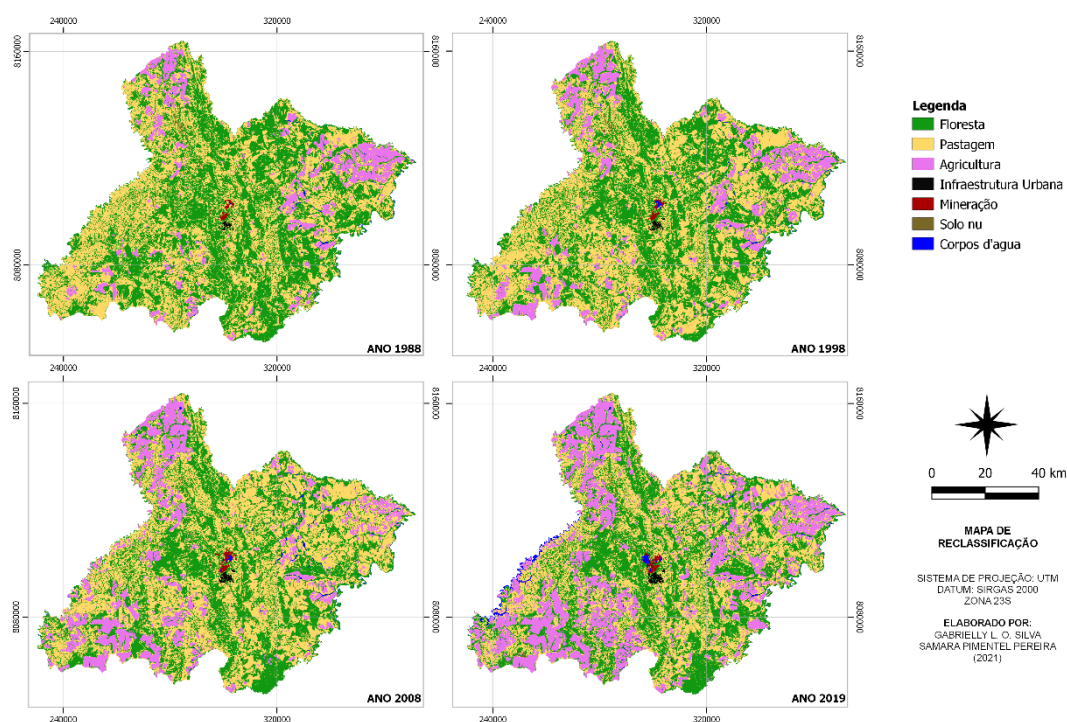
Fonte: Autoria própria (2021).

4.2. RECLASSIFICAÇÃO DE USO E COBERTURA DO SOLO

Para melhor avaliar a relação das áreas de uso e cobertura do solo, além de tornar mais fácil a interpretação dos mapas gerados, optou-se pela reclassificação das áreas inicialmente obtidas, de modo a agrupar aquelas consideradas semelhantes. Desta forma, foram gerados quatro novos mapas com sete classes, a

saber: floresta, pastagem, agricultura, infraestrutura urbana, mineração, solos nu e corpos d'água, conforme apresenta a Figura 7.

Figura 7 – Reclassificação de uso e cobertura do solo utilizando os códigos do MapBiomas



Fonte: Autoria própria (2021).

Conforme esclarece Bossarino e Silva (2010), o processo de reclassificação é necessário quando se quer gerar um novo mapa a partir de um já existente para elaboração de mapas com precisão cartográfica.

Observa-se no mapa do ano de 1988 que as áreas de floresta e pastagem representavam grande parte do território municipal. De acordo com a Tabela 1, as referidas áreas somavam 89,82% da área total. Em contrapartida a ocupação de solo com menor influência no município neste período correspondia a infraestrutura urbana com percentual igual a 0,1%. Analisando o período de 1998, constata-se a invariabilidade da ocupação do solo, de modo que novamente as áreas de floresta e pastagem representam aproximadamente 90% da área total da cidade e a infraestrutura urbana é a classe com menor abrangência (0,12%).

Em contrapartida, no ano de 2008, apesar das classes de floresta e pastagem se mostrarem novamente como principais áreas do município, destaca-se o crescimento das áreas de agricultura com aumento progressivo, conforme apresenta o conjunto de mapas. Ademais, no referido período analisado, a classe com menor taxa de ocupação, pela primeira vez, torna-se a de solos nu. Por fim,

analisando o ano de 2019 verifica-se uma tendência ao equilíbrio das classes de floresta, pastagem e agricultura, sendo estas as de maior cobertura do solo. No período mencionado as classes de infraestrutura urbana, mineração e solos nu situam-se em torno de 0,2%. A Tabela 1 evidencia os valores apresentados.

Tabela 1 – Valores das áreas das classes definidas de uso e cobertura do solo nos períodos em análise

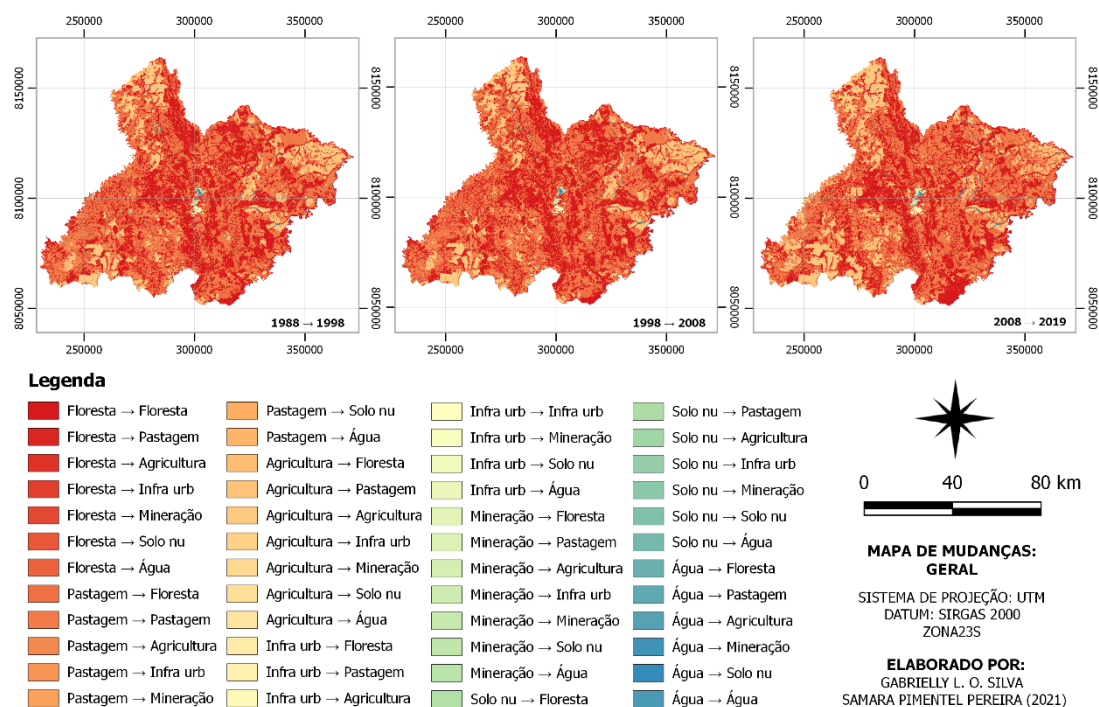
CLASSES	1988		1998		2008		2019	
	Área total (ha)	Área total (%)	Área total (ha)	Área total (%)	Área total (ha)	Área total (%)	Área total (ha)	Área total (%)
Floresta	373.686,27	45,47	332.424,36	40,45	304.366,76	37,03	293.373,72	35,69
Pastagem	364.537,83	44,35	382.652,25	46,56	384.109,86	46,73	308.115,34	37,49
Agricultura	77.452,05	9,42	98.981,58	12,04	124.743,26	15,18	206.797,15	25,16
Infra. Urbana	794,37	0,10	975,67	0,12	1.391,37	0,17	1.955,02	0,24
Mineração	1.170,31	0,14	1.243,83	0,15	1.989,56	0,24	1.704,31	0,21
Solos nu	2.140,09	0,26	2.855,30	0,35	818,22	0,10	1.675,76	0,20
Corpos d'água	2.120,17	0,26	2.768,54	0,34	4.482,42	0,55	8.280,15	1,01

Fonte: Autoria própria (2021).

4.3. MAPAS E ANÁLISES DAS MUDANÇAS – PLUG IN MOLUSCE E SCP

Para melhor visualização das mudanças ocorridas ao longo dos anos, considerando as sete classes definidas a partir da reclassificação, a Figura 8 apresenta os mapas de transição gerados com o uso do *plug-in* Molusce. Holler *et al* (2018) ressaltam que o referido *plug-in* dispõe de técnicas para a realização de análises de correlação entre dois arquivos *rasters* abrangendo o uso e cobertura da terra em diferentes épocas, fornecendo assim subsídios para apoio ao planejamento estratégico de diretrizes que contemplam a gestão de um território a longo prazo. Apesar da complexidade das cores, a ideia dessa figura 8 é externar a quantidade de mudanças que ocorreram para que, mais à frente, pudesse ser trabalhada de forma individual com as diferentes classes.

Figura 8 – Mapas de mudança das três séries duplas



Fonte: Autoria própria (2021).

Os primeiros resultados obtidos a partir do uso do *plug-in* Molusce foram as similaridades entre os períodos analisados e, conforme apresenta a Figura 9, nos três pares de séries considerados esta porcentagem ficou entre 67 e 69%.

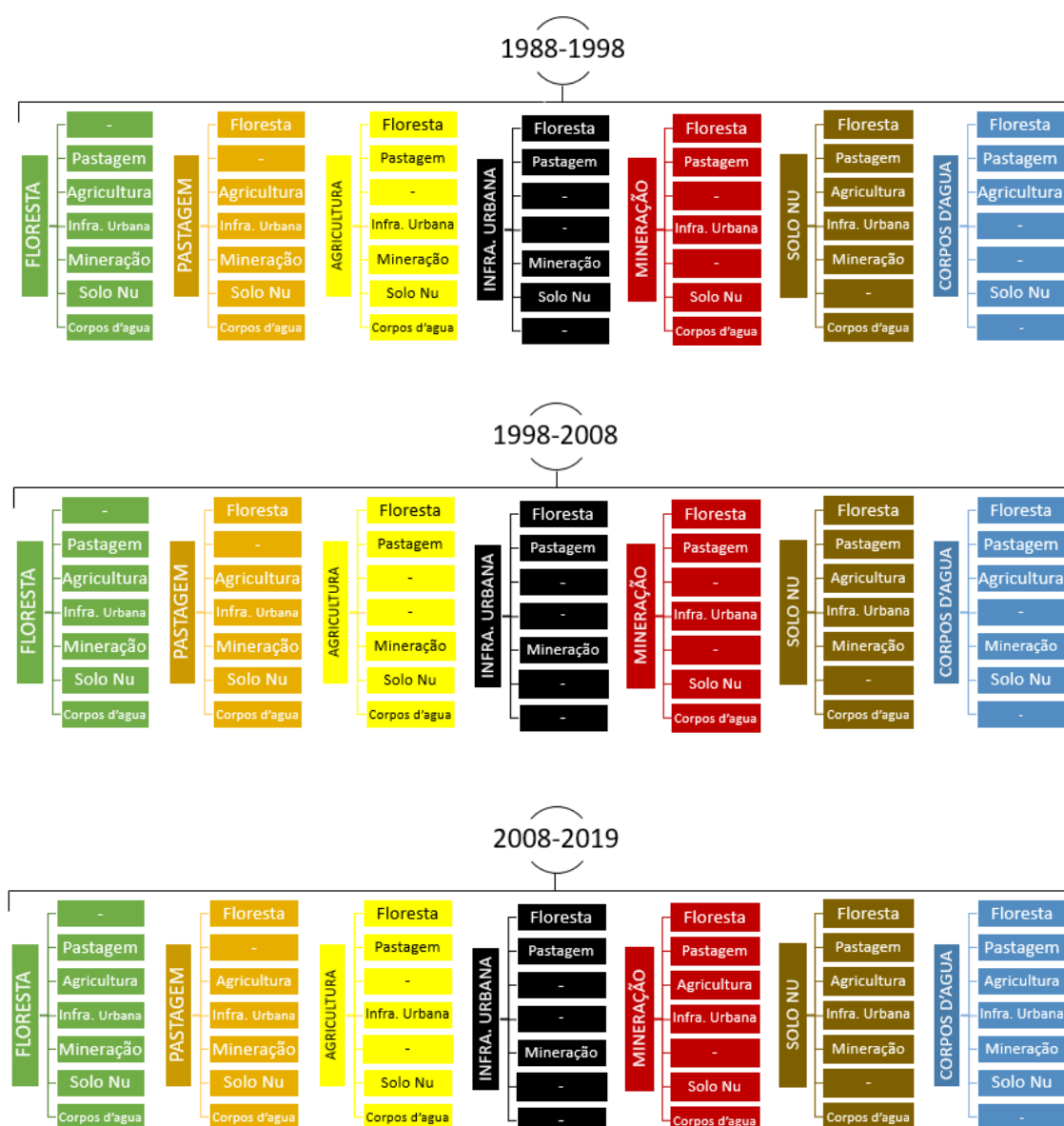
Figura 9 – Similaridade de ocupação do solo nas séries em pares analisadas

	Paracatu-Reclassificacao-1998-23s
Paracatu-Reclassificacao-1988-23s	0.67861490969
	Paracatu-Reclassificacao-2008-23s
Paracatu-Reclassificacao-1998-23s	0.696611235483
	Paracatu-Reclassificacao-2019-23s
Paracatu-Reclassificacao-2008-23s	0.695056697292

Fonte: Autoria própria (2021).

Logo, entende-se que nas últimas três décadas o município tem apresentado uma certa constância quanto as alterações de ocupação do solo. Ademais, a Figura 10 retrata as relações de perdas de ocupação de área entre as distintas classes, obtidas a partir do *plug-in* SCP.

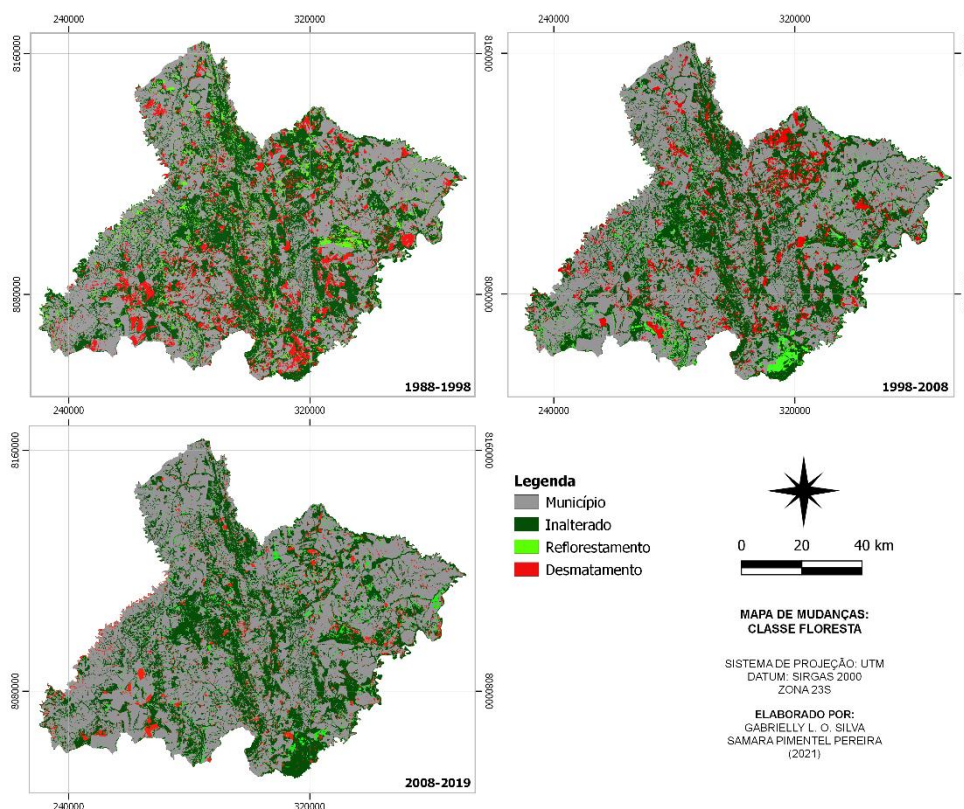
Figura 10 – Relação de perdas de ocupação das classes categorizadas



Fonte: Autoria própria (2021).

De modo a permitir análises temporais consistentes acerca das áreas que compõe a ocupação do solo do município em estudo, optou-se pela criação de mapas específicos considerando as classes individualmente. Neste sentido, a Figura 11 apresenta a evolução das mudanças ocorridas nas três séries duplas da classe Floresta.

Figura 11 – Mapas da evolução temporal da ocupação do solo da classe Floresta

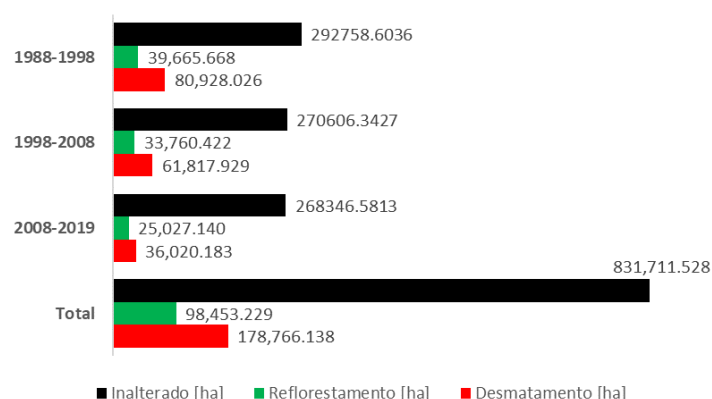


Fonte: Autoria própria (2021).

Em uma primeira análise visual dos mapas pode-se observar que no período compreendido entre 1988 e 1998 o desmatamento ocorre de maneira acentuada, com relativa queda quando considerado o intervalo de 1998 e 2008, chegando a um valor mínimo entre os anos de 2008 a 2019. Tal fato pode ser justificado em função da criação do novo Código Florestal Brasileiro, regido sob a lei de número 12.651 do ano de 2012. Conforme explica Machado (2016), a legislação trouxe novos instrumentos que, uma vez devidamente implementados, permitem o monitoramento do uso da terra no Brasil, fator este fundamental para o combate ao desmatamento e a regularização ambiental, permitindo ainda o cumprimento das metas brasileiras de redução de gases de efeito estufa. O Gráfico 1 revela que o desmatamento ocorrido no primeiro período analisado, valorado em 80.928,02 hectares (ha) foi reduzido a 36.020,18 ha no período de 2008 a 2019, totalizando, portanto, uma redução de 55,49% no desmatamento. Ao analisar de forma simultânea os ganhos e as perdas de área em cada período, constata-se que a defasagem de área de floresta entre 1988 e 1998 ficou em -41.262,35 ha, já no

intervalo de 1998 a 2008 este valor foi reduzido a -28.057,50 ha e no período de 2008 a 2019 chegou a -10.993,04 ha.

Gráfico 1 – Evolução temporal da ocupação do solo referente a classe Floresta



Fonte: Autoria própria (2021).

Buscando compreender as transformações das áreas inicialmente dadas como floresta, visto os valores significativos de desmatamento, pôde-se observar que a principal causa destes, nas três séries analisadas, foi o aumento da área de pastagem, caracterizando uma redução de 135.267,26 ha de floresta, seguido do aumento da área de agricultura, correspondendo a 35.897,26 ha. Ao analisar o ganho de área de mata nativa, ou seja, as áreas reflorestadas, constata-se que o maior impacto vem da redução de áreas de pastagem, porém chegando apenas ao valor de 94.097,40 ha. Ademais, destaca-se que a Infraestrutura Urbana foi a classe que menos causou impacto na mata nativa (considerando tanto o desmatamento, quanto o reflorestamento). As informações acima podem ser observadas a partir da análise da Figura 12.

Avançando com as análises individuais das classes, quanto a Infraestrutura Urbana, cabe destacar o ganho de área ao longo dos anos quando comparado às perdas e, portanto, conclui-se que o município se encontra em expansão.

Figura 12 – Análise detalhada das mudanças de ocupação do solo referente a classe Floresta

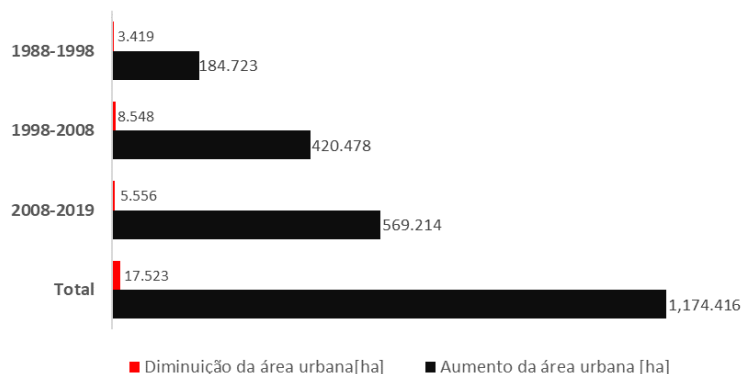


	Inalterado [ha]	Desmatamento para pastagem [ha]	Desmatamento para agricultura [ha]	Desmatamento para infra urbana [ha]	Desmatamento para mineração [ha]	Desmatamento para solo nu [ha]	Desmatamento para corpos d'água [ha]
1988-1998	292,758.604	66,529.783	12,746.077	42.655	58.640	909.683	641.189
1998-2008	270,606.343	46,919.796	12,705.302	115.570	277.897	200.794	1,598.570
2008-2019	268,346.581	21,817.690	10,445.883	113.604	184.980	498.864	2,959.163
	Inalterado [ha]	Reflorestamento com redução da pastagem [ha]	Reflorestamento com redução da agricultura [ha]	Reflorestamento com redução infra urbana [ha]	Reflorestamento com redução da mineração [ha]	Reflorestamento com redução de solo nu [ha]	Reflorestamento com redução de corpos d'água [ha]
1988-1998	292,758.604	37,901.010	1,346.403	0.427	21.285	111.039	285.505
1998-2008	270,606.343	32,873.989	673.244	0.171	2.650	73.257	137.111
2008-2019	268,346.581	23,322.403	877.884	1.111	18.293	82.061	725.387

Fonte: Autoria própria (2021).

No período compreendido entre 1988 (população estimada em 59.041 habitantes) a 1998 (total de 71.480 habitantes), observa-se um aumento da ocupação do solo de forma urbana valorada em 184,72 ha. Ou seja, uma relação entre o aumento de área e o número de novos habitantes igual a 148,5 m²/novo habitante. Ao analisar o período de 1998 a 2008, quando a população total do município chegou ao número de 82.850 habitantes, o crescimento urbano foi de 420,47 ha, definindo, portanto, um índice igual a 369,8 m²/novo habitante. Por fim, na série compreendida entre 2008 e 2019, este último ano com população estimada em 93.158 habitantes, o crescimento das áreas urbanas foi valorado em 569,21 ha, indicando assim um índice igual a 552,20 m²/novo habitante. O Gráfico 2 apresenta estas relações.

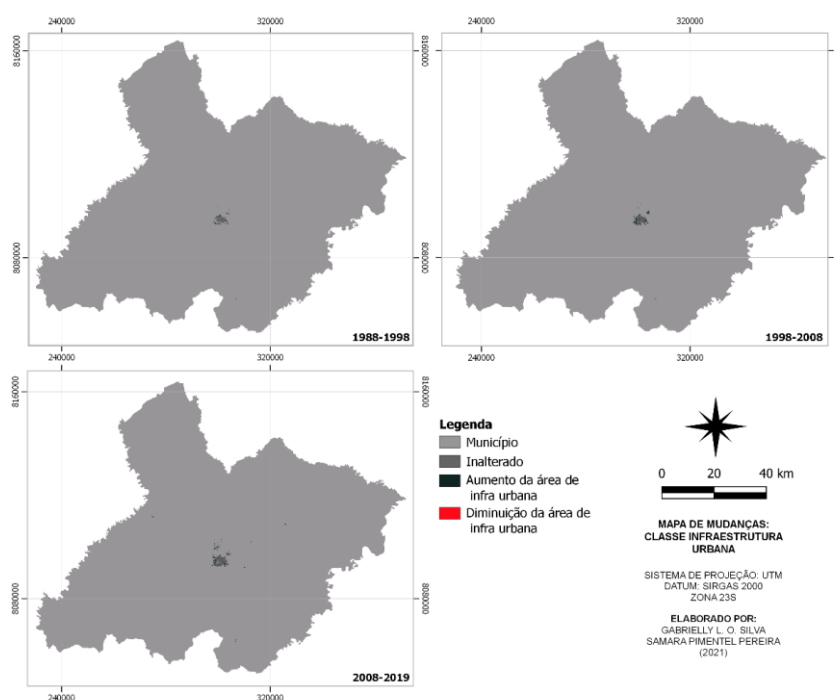
Gráfico 2 – Evolução temporal da ocupação do solo referente a classe Infraestrutura Urbana



Fonte: Autoria própria (2021).

As indicações das áreas onde se concentram os núcleos urbanos podem ser vistas nos mapas da Figura 13. Segundo Rezende e Silva (2014) o crescimento do município está intimamente ligado ao início das atividades minerárias da Rio Paracatu Mineração (RPM), hoje denominada Kinross, nas proximidades do perímetro urbano. Ainda em conformidade com os referidos autores, na década de 90 e 2000 foram inauguradas algumas faculdades no município fazendo com que a cidade se tornasse também um polo educacional, o que se caracteriza, portanto, como atividade econômica com forte atrativo de pessoas para a cidade e, conseqüentemente, poder de expansão.

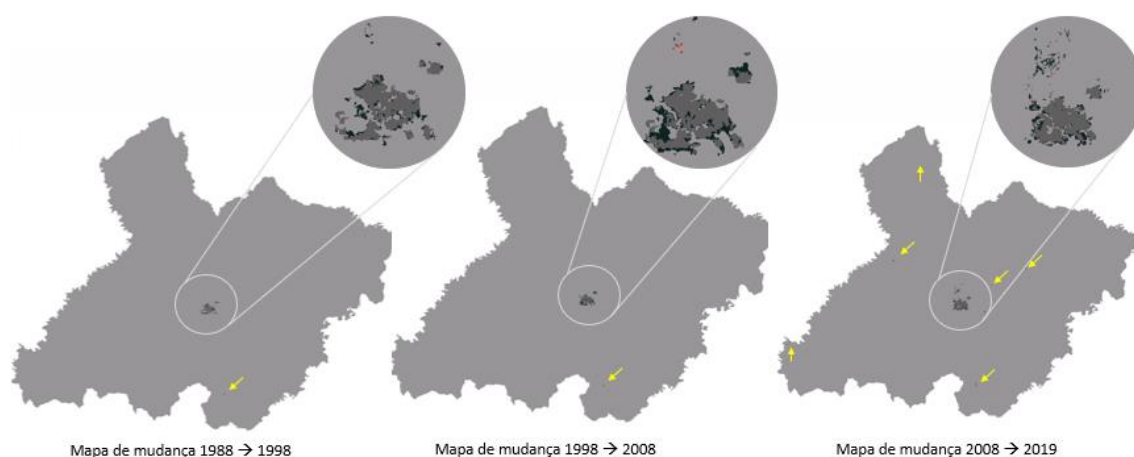
Figura 13 – Mapas da evolução temporal da ocupação do solo da classe Infraestrutura Urbana



Fonte: Autoria própria (2021).

De modo a permitir uma melhor visualização das caracterizações das áreas de infraestrutura urbana que foram ganhadas e perdidas ao longo dos anos analisados neste trabalho, a Figura 14 apresenta alguns destaques e ampliações.

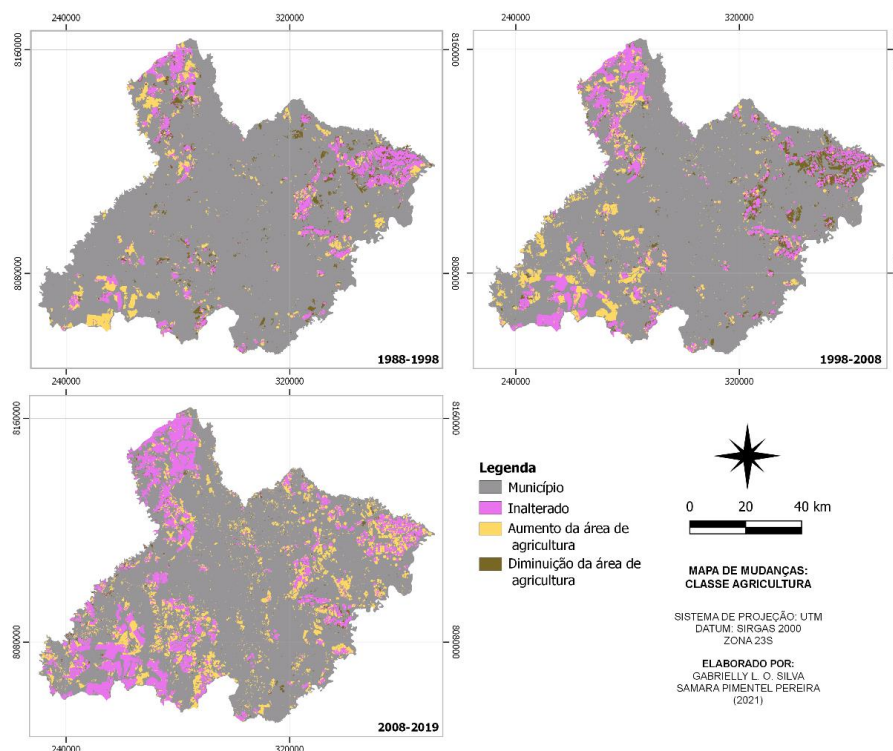
Figura 14 – Ampliação das imagens das áreas de mudanças de ocupação do solo referente a classe Infraestrutura Urbana



Fonte: Autoria própria (2021).

Dando continuidade às análises individuais, optou-se por enfatizar o uso e cobertura das áreas referentes à classe Agricultura, uma vez que estas apresentaram evolução significativa, conforme já apresentado na Tabela 1. Neste sentido, os mapas temporais de ocupação da referida classe podem ser vistos na Figura 15.

Figura 15 – Mapas da evolução temporal da ocupação do solo da classe Agricultura



Fonte: Autoria própria (2021).

A partir da leitura dos mapas observa-se que o crescimento se deu inicialmente a partir da região noroeste do município, ainda no período compreendido entre 1998 e 2008, e foi se expandido para a região sudoeste quando considerado o intervalo de 2008 a 2019.

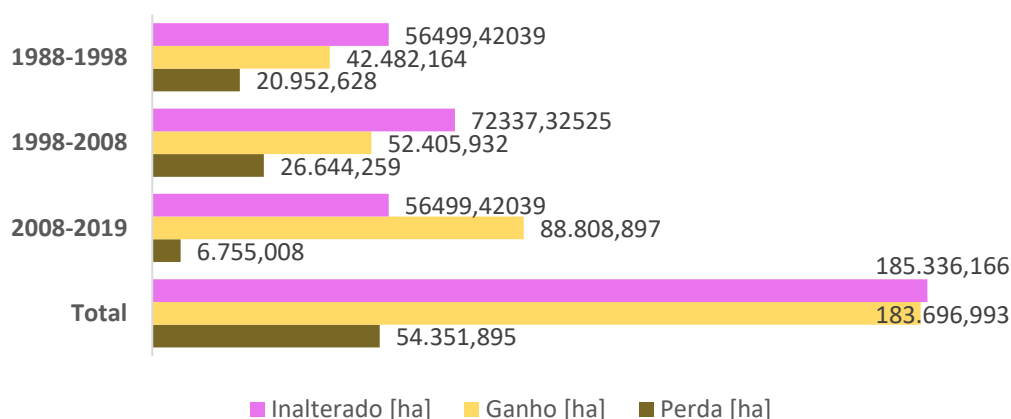
De acordo com Ramos e Queiroz (*apud* Verde e Fernandes, 2010, p.1), “O município vem obtendo sucesso com os investimentos no setor do agronegócio, principalmente pelo trabalho da empresa agrícola binacional Campo (com capital brasileiro e japonês) e até pelo incentivo da mineradora Kinross”.

Verde e Fernandes (2010) complementam que a agroindústria é a alternativa econômica que o poder municipal tem apoiado visando o desenvolvimento do município quando, em um futuro não muito distante, as minerações em Paracatu forem encerradas.

Outro fator que impulsiona as atividades agrícolas em Paracatu está relacionado à criação da Bioenergética Vale do Paracatu (BEVAP), no ano de 2007, que passou a favorecer a produção sucroalcooleira mineira. “A região caracteriza-se pelo relevo plano, com diversidades de solos, ótima disponibilidade de recursos hídricos, altitude e condições climáticas ideais para o cultivo de cana-de-açúcar” (BEVAP, 2021, p.1).

O Gráfico 3 apresenta o panorama de ganhos, perdas e áreas inalteradas referentes à classe Agricultura com valores expressos em hectares. Destaca-se o período compreendido entre 2008 e 2019 onde pode-se observar o expressivo aumento de áreas de agricultura que ultrapassam o valor de áreas inalteradas, destacando-se ainda neste intervalo de tempo a reduzida perda.

Gráfico 3 – Evolução temporal da ocupação do solo referente a classe Agricultura



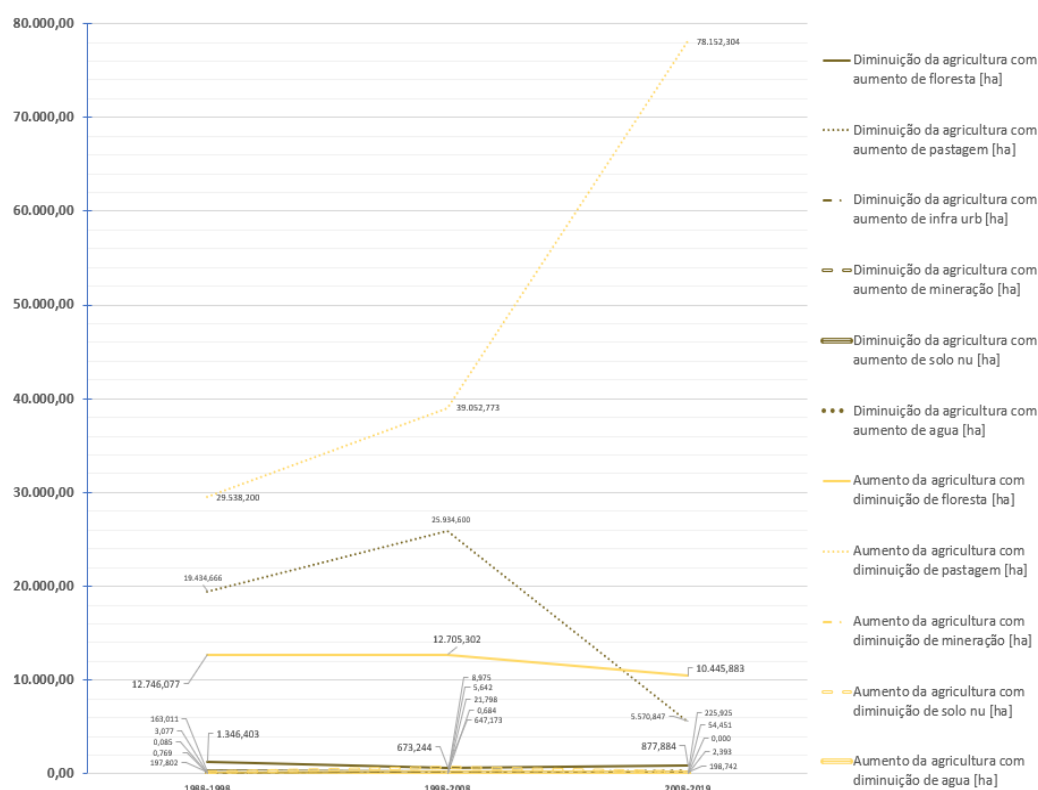
Fonte: Autoria própria (2021).

A Figura 16 apresenta, de forma detalhada, as áreas que foram suprimidas para que a agricultura pudesse se expandir, mostrando ainda as classes que se ocuparam de áreas inicialmente classificadas como de agricultura.

Verifica-se que a referida classe se expande principalmente com a redução de áreas de pastagem, totalizando 146.743,27 ha ganhos nas três séries analisadas, seguido do aumento de área em função da diminuição de ocupação de florestas, representando um aumento de 35.897,26 ha para a classe em estaque.

Em contrapartida, as perdas de áreas de agricultura ocorrem em função da expansão das áreas de pastagem, porém em proporções distintas, somando-se 50.940,11 ha. Ressalta-se ainda que no período compreendido entre 2008 e 2019 houve uma queda significativa nestas perdas.

Figura 16 – Análise detalhada das mudanças de ocupação do solo referente a classe Agricultura



	Inalterado [ha]	Diminuição da agricultura com aumento de floresta [ha]	Diminuição da agricultura com aumento de pastagem [ha]	Diminuição da agricultura com aumento de infra urb [ha]	Diminuição da agricultura com aumento de mineração [ha]	Diminuição da agricultura com aumento de solo nu [ha]	Diminuição da agricultura com aumento de água [ha]
1988-1998	56.499,420	1.346,403	19.434,666	4,701	0,769	163,011	3,077
1998-2008	72.337,325	673,244	25.934,600	0,000	5,642	21,798	8,975
2008-2019	117.988,250	877,884	5.570,847	25,901	0,000	54,451	225,925
	Inalterado [ha]	Aumento da agricultura com diminuição de floresta	Aumento da agricultura com diminuição de pastagem	Aumento da agricultura com diminuição de infra urb	Aumento da agricultura com diminuição de mineração	Aumento da agricultura com diminuição de solo nu	Aumento da agricultura com diminuição de água
1988-1998	56.499,420	12.746,077	29.538,200	0,000	0,000	197,802	0,085
1998-2008	72.337,325	12.705,302	39.052,773	0,000	0,000	647,173	0,684
2008-2019	117.988,250	10.445,883	78.152,304	0,000	9,574	198,742	2,393

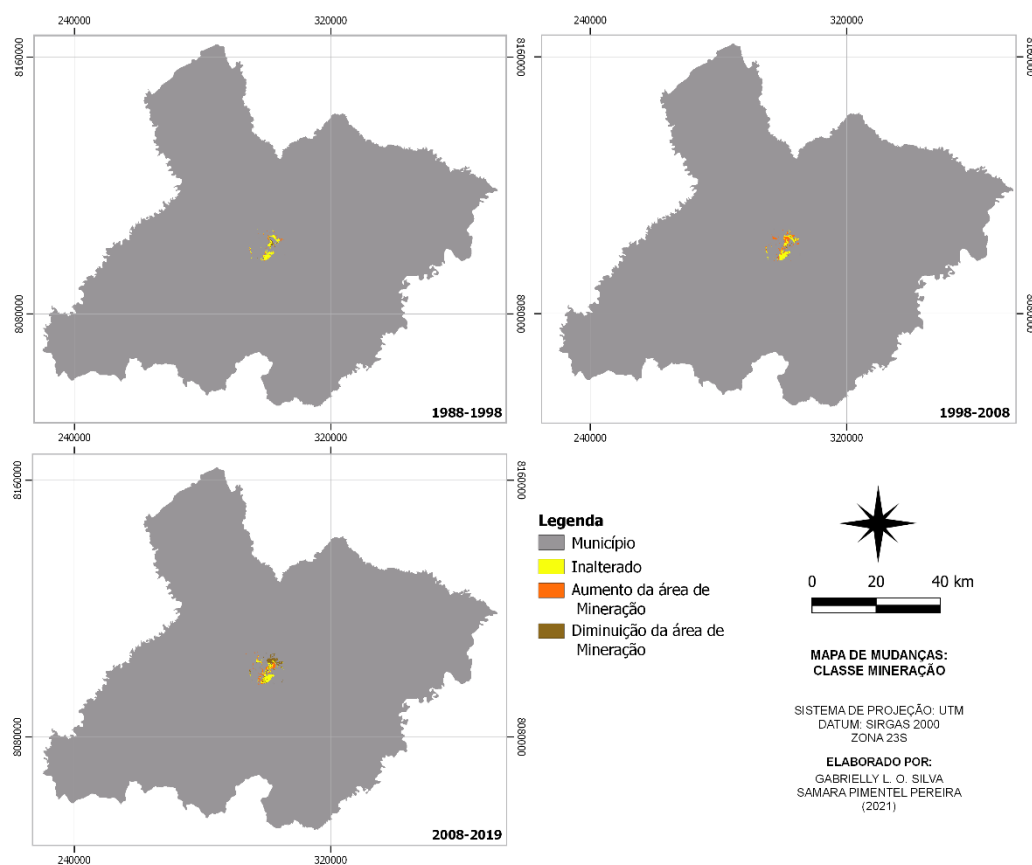
Fonte: Autoria própria (2021).

Ademais, visando contemplar uma análise detalhada da principal atividade econômica do município, foram gerados mapas específicos acerca da classe de mineração, conforme apresenta a Figura 17.

Ressalta-se que as atividades minerárias ganharam escala industrial no município de Paracatu no ano de 1987 com a descoberta do Morro do Ouro por meio da empresa Rio Tinto Brasil e sua subsidiária Paracatu Mineração S.A, tendo sido a referida companhia comprada em 2004 pela empresa canadense Kinross Gold Corporation (SOUZA, ALAMINO E FERNANDES, 2011).

Ainda em conformidade com os referidos autores, concomitante à extração do ouro, a partir de 1988 entrava em operação, no Morro Agudo, a mineração de zinco comandada pela companhia Votorantim Metais Zinco pertencente ao Grupo Votorantim, atualmente denominado Nexa Resources. Além do concentrado sulfetado de zinco, a Nexa Resources realiza a extração de dois subprodutos, sendo eles o chumbo e o pó calcário.

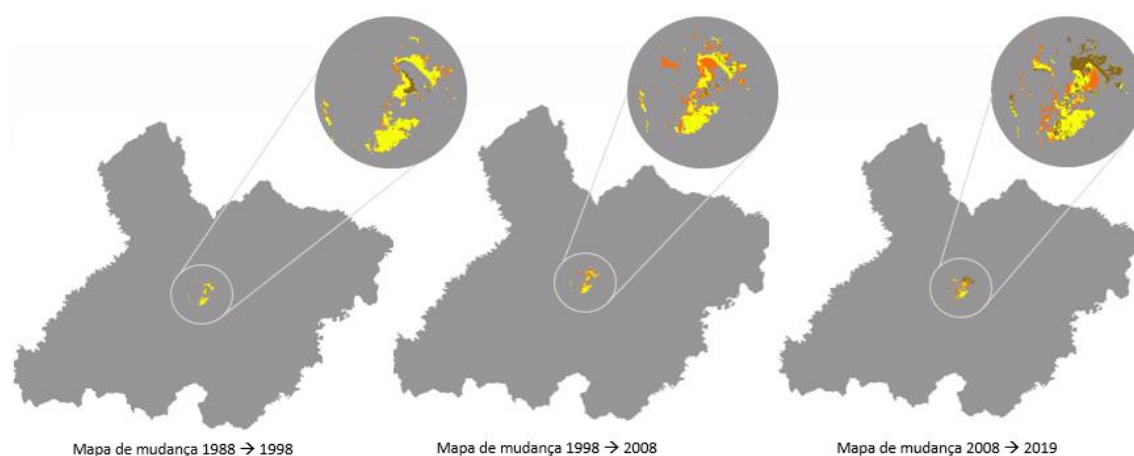
Figura 17 – Mapas da evolução temporal da ocupação do solo da classe Mineração



Fonte: Autoria própria (2021).

Constata-se, a partir da Figura 17, que a ocupação de mineração se situa próxima às áreas de infraestrutura urbana, com discreto crescimento ao longo dos anos analisados. O aumento destas áreas pode ser justificado visto que, conforme esclarece Laboissière (2015), a mineração no chamado Morro do Ouro, em 2006, liderada pela empresa canadense Kinross Gold Corporation, iniciou um projeto de expansão para elevar a capacidade de produção anual da mina de cinco para quinze toneladas de ouro. Para uma melhor visualização das áreas ocupadas pela mineração nos períodos analisados neste trabalho, a Figura 18 as apresentam de forma ampliada.

Figura 18 – Ampliação das imagens das áreas de mudanças de ocupação do solo referente a classe Mineração

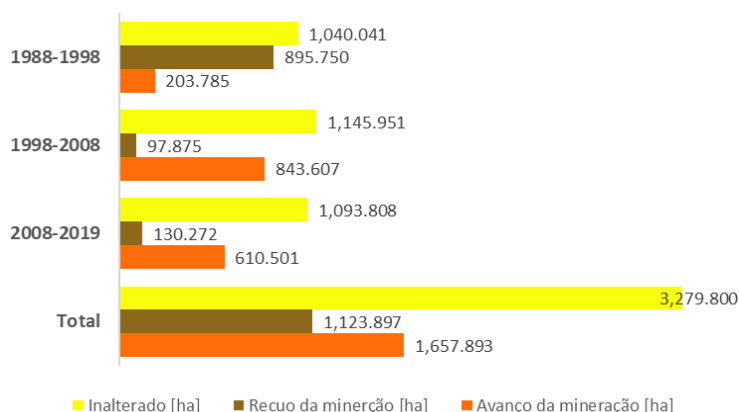


Fonte: Autoria própria (2021).

Os valores expressos em hectares das áreas ocupadas pela classe de mineração para os distintos períodos podem ser vistos no Gráfico 4. No intervalo compreendido entre 1988 e 1998 observa-se uma redução na área de mineração que supera o avanço da mesma. Nos demais períodos analisados o aumento das áreas foi consideravelmente superior.

Ressalta-se que, nas três séries analisadas, a mineração avançou principalmente a partir da redução das áreas de pastagem, seguido da redução das áreas de florestas. Entre 1988 e 1998 a área de mineração recuou com ênfase no aumento dos corpos d'água. Nos demais períodos a redução da área em análise se deu em função do aumento das áreas de pastagem, conforme apresenta a Figura 19.

Gráfico 4 – Evolução temporal da ocupação do solo referente a classe Mineração



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 19 – Análise detalhada das mudanças de ocupação da área de mineração

	Inalterado [ha]	Avanço da mineração com redução de floresta [ha]	Avanço da mineração com redução de pastagem [ha]	Avanço da mineração com redução de agricultura [ha]	Avanço da mineração com redução de infraestrutura urbana [ha]	Avanço da mineração com redução de solo nu [ha]	Avanço da mineração com redução de corpos d'água [ha]
1988-1998	1,040.041	58.640	140.273	0.769	0.513	3.590	0.000
1998-2008	1,145.951	277.897	382.952	5.642	3.932	7.437	165.747
2008-2019	1,093.808	184.980	219.257	0.000	3.505	1.539	201.221
	Inalterado [ha]	Recuo da mineração com aumento de floresta [ha]	Recuo da mineração com aumento de pastagem [ha]	Recuo da mineração com aumento da agricultura [ha]	Recuo da mineração com aumento da infraestrutura urbana [ha]	Recuo da mineração com aumento de solo nu [ha]	Recuo da mineração com aumento de corpos d'água [ha]
1988-1998	1,040.041	21.285	30.517	0.000	2.308	10.258	65.905
1998-2008	1,145.951	2.650	50.604	0.000	6.753	3.847	34.021
2008-2019	1,093.808	18.293	615.545	9.574	56.075	92.062	104.201

Fonte: Autoria própria (2021).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS


Conclui-se que as técnicas de processamento de imagens e mapeamento por meio de geotecnologias e SIG, somadas às análises temporais, demonstram-se como importantes ferramentas na contribuição para o conhecimento do uso e cobertura do solo e, neste sentido, permitem o controle e monitoramento das áreas do município.

Ademais, pode-se inferir que a área em estudo se encontra em constante transformação com destaque à agricultura visto a sua ascendente ocupação com o passar dos anos. A predominância de uso do solo é dada pelas classes: floresta, pastagem e agricultura, respectivamente. As classes de infraestrutura urbana, mineração e solo nu, somam juntas, menos de 1% do território em todos os períodos analisados. Constata-se o aumento das áreas de corpos d'água com o passar dos anos e a atenuação do desmatamento, indicando assim um ordenamento do solo em estudo.

REFERÊNCIAS

- Produção. **BEVAP bio energia**, 2021. Disponível em: <
<https://www.bevapbioenergia.com.br/a-bevap/>>. Acesso em: 13/09/2021.
- BOSSARINO, F. A. Z.; SILVA, J. S. V. **Reclassificação de polígonos no formato vetorial**. Embrapa Informática Agropecuária. Campinas: PUC, 2010.
- CÂMARA, G; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. **Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**. Computers&Graphics, 1996. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0097849396000088>. Acesso em: 10/09/2021.
- CAMPBELL, J. B.; WYNNE, R. H. **Introduction to remote sensing**. 5th ed. New York: The Guilford Press, 2011. 677 p.
- GAMA, A. O. **Historiografia e memórias de Paracatu - Noroeste de Minas Gerais**. Programa de Pós-Graduação em História. Brasília: UNB, 2015. Disponível em:
<
https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/18413/1/2015_AlexandredeOliveiraGama.pdf>. Acesso em 08/09/2021.
- HOLLER, W. A.; ROSOT, M. A. D.; FRANCISCON, L.; GARRASTAZU, M. C.; OLIVEIRA, Y. M. M.; MARAN, J. C. **Cadernos de geoprocessamento 10: como proceder na detecção de mudanças de uso e cobertura da terra**. Comunicado Técnico. Curitiba: EMBRAPA, 2018.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021. **Panorama do município de Paracatu**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/paracatu/panorama>> Acesso em: 11/09/2021.
- INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN), 1979. **Estatuto da Fundação Nacional Pró-Memória**. Disponível em:
<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/1495/#:~:text=0%20antigo%20povoado%20surgiu%20entre,tarde%2C%20nas%20terras%20de%20Goi%C3%A1s>. Acesso em: 10/09/2021.
- LABOISSIERE, P. Expansão da maior mina de ouro do país assusta moradores de Paracatu. **Agência Brasil**, Paracatu, 16-03-2015. Disponível em: <
<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-03/expansao-da-maior-mina-de-ouro-do-pais-assusta-moradores-de-paracatu>> Acesso em 13/09/2021.
- MACHADO, F. **Novo código florestal brasileiro: guia para tomadores de decisão em cadeias produtivas e governos**. Brasília (DF): WWF Brasil, 2016.
- MAPBIOMAS - PROJETO DE MAPEAMENTO ANUAL DO USO E COBERTURA DA TERRA NO BRASIL, 2021. **Mapa das coleções: coleção 5**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 14/08/2021.





PARACATU, Prefeitura Municipal de. Secretaria de Cultura, 2021. **Conheça Paracatu**. Disponível em <<http://paracatu.mg.gov.br/paracatu>>. Acesso em: 10/09/2021.

REZENDE, P. S.; SILVA, G. O. **Estudo da evolução populacional da cidade de Paracatu-mg, por meio de geoprocessamento para os anos de 2000 e 2010**. VII Congresso Brasileiro de Geógrafos. Vitória-ES, 2014. Disponível em:
<http://www.cbg2014.agb.org.br/resources/anais/1/1404155412_ARQUIVO_EvolucaoPopulacaoUrbanadeParacatu2000e2010_PatriciaeGustavo.pdf> Acesso em 12/09/2021.

SANTOS, A. L. C.; SANTOS, F. **Mapeamento das classes de uso e cobertura do solo da Bacia hidrográfica do rio Vaza-barris, Sergipe**. Revista Multidisciplinar da UNIESP, nº10. São Paulo: UNIESP, 2010. Disponível em:
<http://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20180403121158.pdf>. Acesso em 08/09/2021.

SOUSA, B. F. S.; TEIXEIRA, A. S.; SILVA, F. A. T. F. **Classificação de bioma caatinga usando o Support Vector Machines (SVM)**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, 2010. Disponível em:
<<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.17.14.03/doc/7917-7924.pdf>>. Acesso em 10/09/2021.

SOUZA, K. V.; ALAMINO, R. C. J.; FERNANDES, F. R. C. **Paracatu: o conflito entre o “Rio Bom” e a mineração**. CETEM/MCTI, 2011. Disponível em:
<<http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/1170/1/Paracatu%20o%20conflito.pdf>> Acesso em: 13/09/2021.

VERDE, R. B. R. V.; FERNANDES, F. R. C. **Impactos da mineração e da agroindústria em paracatu (Mg): ênfase em recursos hídricos**. Jornada de Iniciação científica, v18. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Disponível em:
<http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/567/1/Rodrigo_Verde.pdf> Acesso em: 12/09/2021.



CAPÍTULO IX

ESTUDO DE CASO: DIAGNÓSTICO DE ÁREAS PROPENSAS A INSTALAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO EM NOVA PONTE (MG)

DOI: 10.51859/ampla.aca955.1122-9

Gabriel Henrique de Morais Fernandes

Discente do Curso de Especialização em Geoprocessamento
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM
ghmf19@gmail.com

Carlos Roberto Mangussi Filho

Discente do Curso de Especialização em Geoprocessamento
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM
cmangussifilho@gmail.com

Renato Farias do Valle Junior

Professor Doutor em Agronomia
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM
renato@iftm.edu.br

Daniel Pena Pereira

Professor Doutor em Produção Vegetal
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM
danielpena@iftm.edu.br





RESUMO


A destinação final correta de resíduos sólidos urbanos, é preponderante na conservação do meio ambiente total, por este motivo, muitos estudos envolvem a construção de aterros sanitários. Sendo obras projetadas por especialistas, na intenção de conter estes elementos residuais, a análise de regiões propensas a instalações de aterros, é um caminho para prever e evitar problemas futuros, relacionados com a contaminação ambiental. Assim, diversas ferramentas têm sido utilizadas neste diagnóstico como o modelo de Processo Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process* – AHP), que permite delinear valores a parâmetros através de pesos, seguindo o passo de uma hierarquia. Portanto, o objetivo deste estudo, é avaliar a instalação de um aterro sanitário no município de Nova Ponte (Estado de Minas Gerais), utilizando a metodologia AHP como ferramenta de diagnóstico. A importância deste estudo é apontar regiões propensas à construção de um aterro, respeitando limites impostos em normas e legislação, sejam estaduais e regionais. A metodologia consiste em interagir mapas restritivos (Declividade, Núcleos Populacionais, Unidades de conservação, Mata Atlântica, Ferrovias, Dutovias, Cadastro Ambiental Rural) com mapas não restritivos (Hidrologia, Solos, Rodovias, Fonte geradora de resíduos sólidos, Geologia e Valor da Terra), gerando uma matriz de análise 6 x 6. Como resultado final da análise, verificamos que o município possui pouco mais de 4,7 mil hectares disponíveis a instalação do aterro, de forma a garantir que os principais parâmetros restritivos sejam respeitados, a favorecer o respeito à legislação e a adequação ambiental da região.

Palavras-chaves: *Analytic Hierarchy Process*, Mapas restritivos, Mapas não restritivos, resíduos sólidos.

1. INTRODUÇÃO

A explosão demográfica, provocadora do crescimento urbano, de certa forma desordenado, assim como o processo de ocupação do território urbano, causadores do acelerado aumento de bens de consumo descartáveis aliados ao consequente avanço da industrialização, tem como consequência a geração de grandes volumes de resíduos sólidos (RIBEIRO, 2007). A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305/2010), instrui que os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), são aqueles de origem domiciliar, bem como os oriundos de atividades ligadas à limpeza urbana, como a varrição por exemplo. Também são classificados os de ascendência comercial, e que de dependendo da geração diária do determinado estabelecimento de comércio, a destinação final do resíduo passa a ser responsabilidade da prefeitura (SIQUEIRA *et al.* 2015).

Lima (1985) diz que o descarte, manejo e tratamento destes RSU é uma das maiores preocupações de especialistas e estudiosos da área, pois tais materiais em contato com o ambiente de uma forma equivocada e sem qualquer planejamento




visando seu tratamento, podem trazer transtornos ambientais irreversíveis, como a contaminação do solo, água e ar, alterando as características físicas, químicas e biológicas do local. Uma solução se apresenta é a substituição dos lixões para a adoção de aterro sanitários.

Aterros sanitários são construídos com a visão de um processo tomador de apoio para pretensão final de rejeitos e resíduos sólidos no solo, essencialmente o lixo domiciliar. O método é uma obra de engenharia projetada seguindo a legislação ambiental específica atendendo diversos critérios técnicos, que visa evitar danos socioambientais como um todo, confinando os resíduos sólidos na menor área possível, onde posteriormente se cobre com uma camada de terra na conclusão de cada trabalho. A NBR 13896/1997, recomenda a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos, observando que seu monitoramento deve estender-se por pelo menos mais 10 anos após o seu encerramento (VGR, 2018). A grande preocupação em um aterro parte da sua impermeabilização do solo, pois a função desta é proteger e impedir a infiltração do chorume (que é um líquido originário de processos biológicos, químicos e físicos provenientes da decomposição dos resíduos orgânicos) para o subsolo e aquíferos existentes (WORKMAN; KEEBLE, 1989). Fazer a correta drenagem dos lixiviados levando o chorume para uma rede própria de drenos internos, impede a contaminação do solo e lençol freático.

Todo o processo de projeto de um aterro, passa ao conhecimento de regiões que são mais propensas a instalação do mesmo dentro de um município, evitando futuros problemas socioambientais para todo o regional local. É partindo desta necessidade, que o Sistema de Informação Geográfica (SIG) se mostra uma ferramenta de grande valia, nas mais diversas atividades ligadas ao geoprocessamento quando da análise ambiental. Assim sendo, a ferramenta do Processo Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process* – Easy AHP) aplicado na plataforma SIG, é preconizado quando inúmeras variáveis são envolvidas em determinado estudo como é o da execução projetacional de um aterro, a favorecer o diagnóstico da contribuição relativa de cada fator para a decisão final (TRAFICANTE E MANZIONE, 2016).

Com enfoque no problema apresentado, a justificativa para a realização do trabalho se respalda na importância da instalação de sistemas eficientes na disposição final dos resíduos, focando na substituição do primitivo lixão para a adoção de aterro sanitários em cidades com esta obra faltante, evitando assim que



o município adote soluções inadequadas para o descarte destes resíduos, mitigando problemas relacionados a saúde pública, como a proliferação de doenças e vetores, e também a contaminação de todo o sistema ambiental.

Com base no exposto, o presente estudo tem o objetivo diagnosticar as áreas propícias quanto a instalação de um aterro sanitário no município de Nova Ponte (Estado de Minas Gerais), a partir do uso da metodologia AHP em um SIG. Buscando assim, apontar regiões mais propensas à construção de um aterro, respeitando os limites impostos em normas e legislação. Assim, as hipóteses do trabalho para o estudo, são: (I) a análise multicritério AHP será capaz de mapear as áreas propícias à instalação de aterro sanitário no município? (II) o fator solo será o fator de maior peso na modelagem proposta para o município?

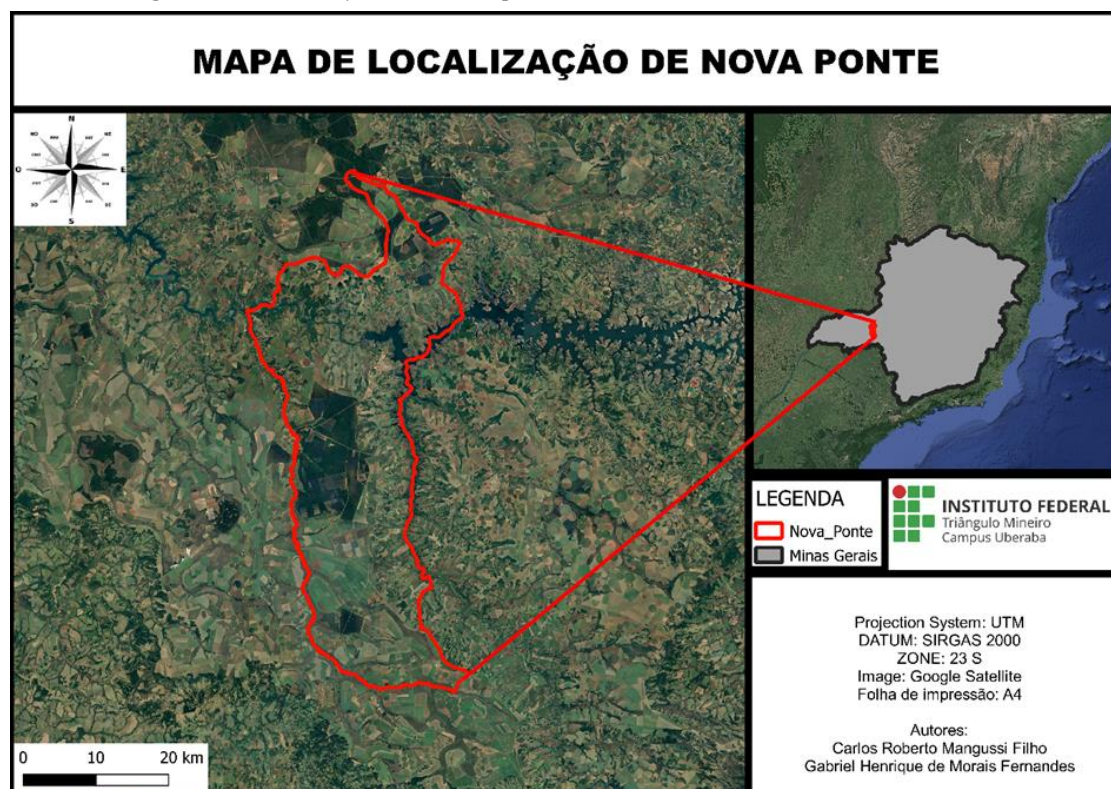
2. METODOLOGIA

2.1. ÁREA DE ESTUDO

Nova Ponte é um município inserido na região do Triângulo Mineiro, com localização no Estado de Minas Gerais. Está compreendido entre as coordenadas geográficas aproximadas de 19° 9' 46" Sul e 47° 40' 42" Oeste (Figura 1). Detém uma área total próxima de 1111 Km² (111 mil hectares), com uma população estimada em 16 mil habitantes, segundo o último censo demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021). A cidade faz limite com os seguintes municípios: Uberaba, Romaria, Sacramento, Santa Juliana, Indianópolis, Estrela do Sul, Iraí de Minas e Pedrinópolis.

Segundo a classificação Köppen e Geiger a região tem um clima classificado como Tropical de Altitude (mais específicos nas áreas do Sudeste com a presença de serras e planaltos com altitudes superiores a 500m). Nos períodos mais chuvosos do município (Fevereiro e Dezembro), a precipitação média é de 230 a 250mm, observando-se baixas amplitudes térmicas, com variações de no máximo 7°C a 8 °C, registrando temperaturas amenas no verão com valores de 23°C, podendo perceber a ocorrência de geadas no inverno (PMSB, 2014).

Figura 1 – Delimitação do município de Nova Ponte, Estado de Minas Gerais



Fonte: Dos Autores (2021).

O bioma Cerrado é predominante na região, marcado por formações semelhantes à Savana Africana, ocorrendo em altitudes que variam de 300m a 1600m. Apresentado por uma variação de espécies, entre répteis, pássaros, roedores e mamíferos de médio e grande porte (CBH ARAGUARI, 2014).

As formações geológicas da região, remonta a era Mesozóica, presente no Domínio Geomorfológico do Planalto do Brasil Central, que está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná. O município está na porção Norte/Nordeste desta Bacia, compondo-se em sua maioria de rochas do Grupo Bauru (arenitos-Formação Marília), que são recobertos pelos basaltos e conglomerados do Grupo São Bento (Basaltos – Formação Serra Geral), apresentando também, mesmo que pequena, uma participação da Formação Araxá, representados por derrames metamórficos, pertencentes ao Cânion do Rio Araguari (CBH ARAGUARI, 2014). As rochas através do seu intemperismo, dispersam camadas de grânulos de diversos tamanhos e formas, que se acumulam formando camadas de solo, também conhecidas como horizontes. Os solos da região apresentam uma variação, com a maioria sendo classificados de uma forma geral de Latossolos, predominando os Latossolos Vermelho Distróficos (LVd), Latossolos Vermelho Amarelos distróficos (LVAd), e também se nota a presença de Nitossolo Vermelho Eutrófico (Nvef) (BRITO, 2003).

2.2. O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Mediante o Sistema de Informações Geográficas (SIG) ser um conjunto de ferramentas através de coleções, armazenagem, recuperações, transformações e exibição de dados espaciais que se relacionam ao espaço terrestre (ROCHA. 2020), utilizamos do complemento Easy AHP presente no software QGis 2.18, para trabalhar o processamento de parâmetros analíticos. Em uma versão mais atualizada do QGis, georreferenciamos a região combinando os dados de uso e ocupação que foram obtidos do Mapbiomas.

2.3. ELABORAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Todos os elementos necessários para confeccionar os mapas, foram adquiridos por meio do sistema de Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA). A exceção fica por conta do mapa altimétrico, sendo este extraído do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) e do Raster de Uso e Ocupação do solo, este obtido do Mapbiomas (Tabela 1).

Tabela 1 – Banco de Dados Utilizado na formação dos mapas

Tipo de Dados	Fonte de Dados	URL
Modelo Digital de Elevação (MDE)	TOPODATA	http://www.dsr.inpe.br/topodata/
Shapefile dos mapas de corpos d'água, Unidades de Conservação, Mata Atlântica, Solos, Sistemas de Transporte e Núcleos Populacionais	IDE - SISEMA	https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis
Raster de Uso e ocupação do solo	MapBiomas	https://mapbiomas.org/

Fonte: Acervo dos Autores, 2021.

2.4. PROCESSO DE ELABORAÇÃO DE MAPAS RESTRITIVOS

Com o auxílio do SIG através do software QGis, durante o processo de mapeamento de territórios propensos a instalação de aterros sanitários, é comum a elaboração de mapas restritivos, no intuito de coibir áreas que não possuem aptidão a construção destes, seja por leis ou ambientes protegidos. Esse processamento se limita a declividade topográfica do local, núcleos populacionais, Unidades de Conservação, bioma predominante de Mata Atlântica, áreas próximas a ferrovias e



dutovias e locais pertencentes ao Cadastro Ambiental Rural (CAR), como nascentes, vegetação nativa, reserva legal e Áreas e Preservação Permanente (APP). Alguns pesquisadores e acadêmicos, na intenção de melhores resultados podem aplicar outras restrições quanto às já citadas. É válido ressaltar que cada uma destas limitações é baseada em implicações quanto a distâncias e, no caso da declividade, em valores de porcentagem. Atribui-se valores de peso zero (0) para porções da região inaptas de fato e o valor de um (1) para regiões que se encontram aptas (Tabela 2).

Tabela 2 – Critérios para mapas Restritivos

Critérios		Classes	Pesos
Declividade		Acima de 30%	0
		Abaixo de 30%	1
Distância de Núcleos Populacionais		Abaixo de 500 metros	0
		Acima de 500 metros	1
Unidades de Conservação e Mata Atlântica		Dentro do Perímetro	0
		Fora do Perímetro	1
Distância de Ferrovias e Dutovias		Abaixo de 100 metros	0
		Acima de 100 metros	1
CAR	Nascente	Dentro do Perímetro	0
	Vegetação Nativa		
	Reserva Legal		
	Área de Preservação Ambiental	Fora do Perímetro	1

Fonte: Acervo dos Autores, 2021.

2.5. PROCESSO DE ELABORAÇÃO DE MAPAS NÃO RESTRITIVOS

Ainda com o auxílio do SIG, se elaborou os mapas não restritivos para a região de estudo. Estes definem critérios de instalação para os aterros conforme valores escalonados que são atribuídos aos locais, percebendo-se que conforme áreas mais próximas aos parâmetros de atributos se tem valores mais impositores, enquanto que as menores respostas se notam para regiões que apresentam maior afastamento das limitações (tabela 3). O método utilizado foi de se adotar o valor de 255 como o maior peso e zero (0) como menor peso, pois o software QGis consegue distinguir duzentos e cinquenta e diferentes cores em sua paleta. Esta escolha quanto a definição de valores escalonados, fica por conta do usuário que está elaborando o estudo, não sendo regra acompanhar os mesmos valores aqui dispostos.

Tabela 3 – Critérios adotados para Mapas Não Restritivos

Critérios	Classes	Pesos
Distância de Rodovias	Até 200 metros	255
	200 – 2000 metros	175
	2000 – 4000 metros	130
	4000 – 6000 metros	95
	6000 – 8000 metros	55
	Mais de 8000 metros	25
Distância da Fonte Geradora de Resíduos Sólidos Urbanos	Até 500 metros	255
	500 – 3000 metros	150
	3000 – 5000 metros	100
	5000 – 15000 metros	50
	15000 – 20000 metros	30
	Mais de 20000 metros	15
Distância de Corpos Hídricos	Até 300 metros	255
	300 – 600 metros	130
	600 – 900 metros	75
	900 – 1200 metros	50
	1200 – 1500 metros	25
Tipos de solo	Latossolos Vermelhos Distróficos + Latossolos Vermelho - Amarelos Distróficos	130
	Latossolos Vermelhos Distróficos + Argissolos Vermelhos Eutróficos	255
	Latossolos Vermelhos Distroféricos + Latossolos Brunos Distróficos	130
Geologia	Formação Serra Geral	130
	Formação Marília	255
	Formação Araxá	150
Valor Terra	Pastagem R\$ 11300	130
	Agricultura R\$ 14700	150
	Silvicultura R\$ 18500	255
	Área Urbana R\$ 18500	255

Fonte: Acervo dos Autores, 2021.

2.6. IMPLEMENTAÇÃO DA FERRAMENTA EASY AHP

A ferramenta de Processo Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process* – AHP) é utilizado para diferenciar diversos fatores que contribuem a decisão, revelando modos para apresentar o peso relativo de cada um. Foi diante deste problema que Thomas Saaty propôs em 1978, este método, baseando-se na programação da comparação pareada, denominada AHP. Sendo este modelo abrangente e estrutural na busca da resolução do problema, representando e quantificando seus elementos, conseguindo relacionar estes com metas globais, podendo trazer soluções alternativas (RODRIGUES, 2018). Além do apoio na tomada de decisão mais correta, a ferramenta auxilia na justificativa a escolha realizada.

Os usuários da metodologia, primeiramente devem alinhar seu problema de decisão através de uma hierarquia de subproblemas que são mais facilmente compreendidos, com detalhe onde cada um pode ser analisado independentemente,

sendo estes trabalhados na forma de uma matriz. Estes elementos se relacionam com os determinantes de suas incógnitas apresentadas (tangível ou não). E todo o processo se configura através de determinados pesos (Tabela 4) que você apresenta na formação do seu contexto, e assim é possível estimar resultados que contribuam na sua tomada de decisão.

Tabela 4 – Escala de Valores AHP para Comparação Pareada

Intensidade de Importância	Definição e Explicação
1/9	Importância Extremamente para menos: um dos fatores é extremamente menos importante que o outro.
1/7	Importância Muito menos: um dos fatores é muito menos importante que o outro.
1/5	Importância Fortemente para menos: um dos fatores é fortemente menos importante que o outro.
1/3	Importância Moderada para menos: um dos fatores é moderadamente menos importante que o outro.
1	Importância Igual: os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada: um fator apresenta-se um pouco mais importante que o outro.
5	Importância essencial: um fator apresenta-se com clareza mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada: um fator apresenta-se com consideração elevada mais importante que o outro.
9	Importância extrema: fica evidente que um fator é mais importante que o outro, na maior ordem possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre julgamentos: são respostas adicionais que o usuário pode dar ao processo.

Fonte: Adaptado de Rodrigues, 2018.

Os problemas alinhavados neste projeto se baseiam nos mapas escalonados não restritivos, compondo por hora uma matriz seis por seis (Tabela 5). Sendo que o primeiro passo é definir os valores com intensidade de mesma importância conforme mostrado na Tabela 4, e baseando-se nestes mesmos valores se dá continuidade ao processamento da analogia finalizando o preenchimento da tabela 5. A ferramenta Easy AHP está presente como complemento no software QGis 2.18, e foi a utilizada para o processamento de tal análise neste projeto.

Tabela 5 – Matriz comparativa seis por seis com valores de definição iguais ao projeto

	Hidrografia	RSU	Rodovias	Solos	Geologia	Valor da Terra
Hidrografia	1					
RSU		1				
Rodovias			1			
Solos				1		
Geologia					1	
Valor da Terra						1

Fonte: Acervo dos Autores, 2021.



Após a finalização do preenchimento da matriz seis por seis, é realizada a matriz normalizada construída pela relação existente de cada peso dividido pelo somatório de cada coluna. Posteriormente, feita a soma dos totais de cada linha divide-se pelo número total de fatores, no nosso caso seis (6). Este peso é utilizado para a ponderação em cada mapa não restritivo quanto a sua importância na análise, podendo ser obtido conforme a equação abaixo:

$$\text{Peso parâmetro} = \frac{\text{Soma dos totais de cada linha (matriz normalizada)}}{6}$$

É necessário obter também o valor do Lambda (λ) máximo para cada um dos parâmetros avaliados, com o intuito de validação dos pesos obtidos. A equação do Lambda é:

$$\begin{aligned} &= \text{Peso parâmetro} \\ &\quad * (\text{Soma total da coluna matriz comparativa correspondente}) \end{aligned}$$

Após se calcular o *máximo* de cada parâmetro deve-se somá-los a calcular o seu somatório total *máximo(somatório)*.

Com o valor do Lambda, se é possível obter o Índice de Consistência (Ci), responsável por apresentar a taxa de consistência. A equação abaixo demonstra o cálculo do Ci:

$$Ci = \frac{(\text{máximo(somatório)} - 6)}{(6 - 1)}$$

A taxa de consistência (CR) é calculada e tem de retornar resposta abaixo de 0,1 para que os valores obtidos para os pesos de cada parâmetro analisado sejam válidos. Este valor é proveniente do resultado da divisão entre Índice de Consistência (Ci) e Índice de Consistência Aleatória (Ri), conforme equação abaixo. Já o Ri é obtido através da tabela 6, onde conforme a dimensão da matriz, coleta-se o valor (ex. matriz 6x6, n=6, Ri=1,24).

$$CR = \frac{Ci}{Ri}$$

Tabela 6 – Valores de Ri para matrizes de diferentes tamanhos.

Dimensão da matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor de Ri	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Rodrigues, 2018.

2.7. PROCESSAMENTO DO MAPA FINAL

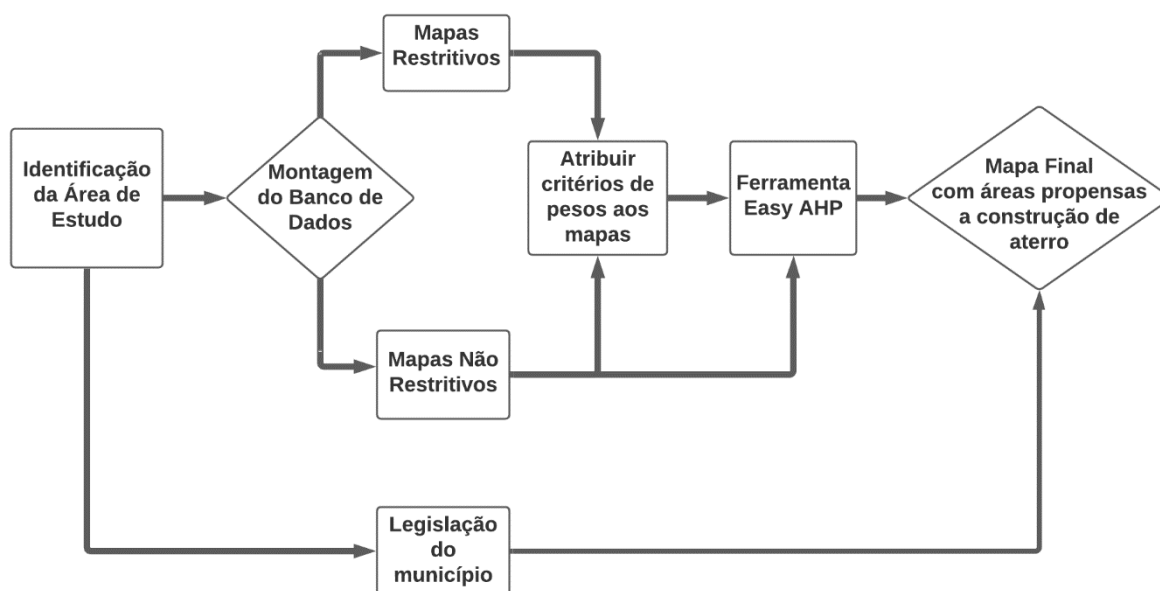
Após toda a formatação da matriz seis por seis e validado os valores dos pesos, o complemento Easy AHP retorna resultados que devem ser aplicados a multiplicação aos respectivos mapas analisados com os mapas restritivos, para se obter o mapa final. O processo seguinte se faz presente no software QGIS 3.10 ou versões superiores, através da calculadora Raster.

A equação utilizada neste projeto se apresenta abaixo:

$$\begin{aligned} \text{Mapa final} = & ((\text{Mapa Hidrografia} * \text{Peso do mesmo}) \\ & + (\text{Mapa RSU} * \text{Peso do mesmo}) \\ & + (\text{Mapa Rodovias} * \text{Peso do mesmo}) \\ & + (\text{Mapa de solos} * \text{Peso do mesmo}) \\ & + (\text{Mapa de Geologia} * \text{Peso do mesmo}) \\ & + (\text{Mapa de valor da Terra} * \text{Peso do mesmo})) * \\ & * \text{Mapa Declividade} * \text{Mapa de Núcleos Populacionais} \\ & * \text{Mapa de Vegetação Nativa} * \text{Mapa de Cursos d'água} \end{aligned}$$

A figura 2 mostra um fluxograma, representando esquematicamente todo o processo, até a elaboração do mapa final.

Figura 2 – Fluxograma de Desenvolvimento do Estudo



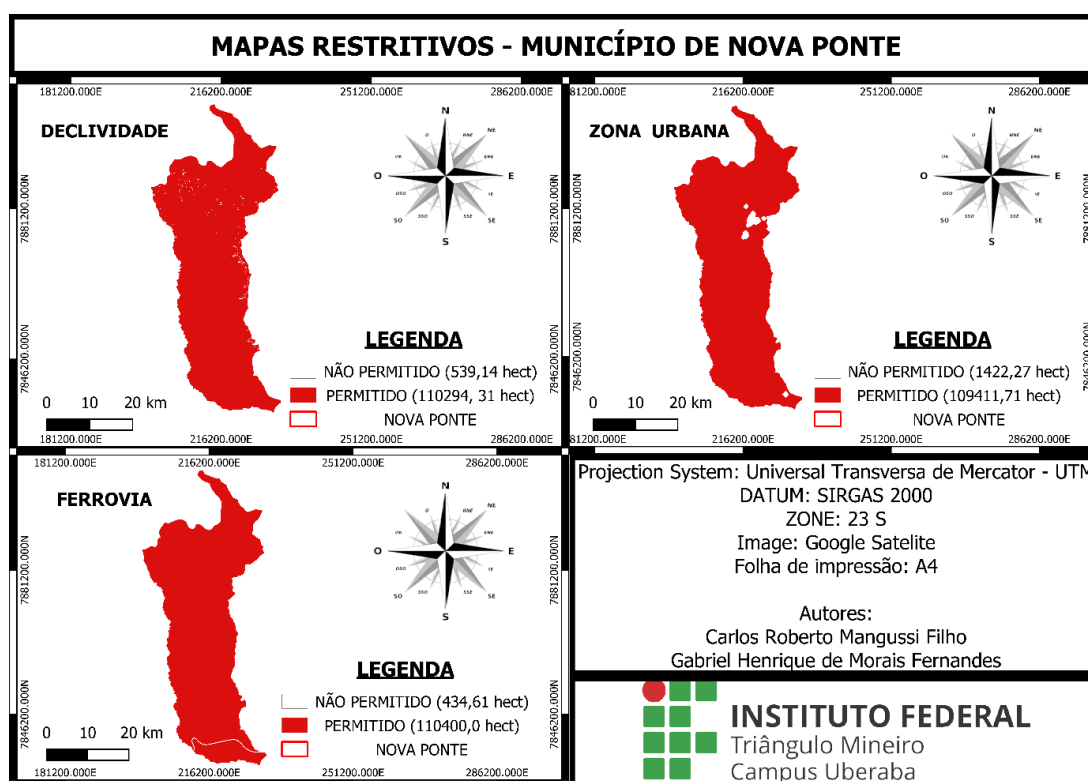
Fonte: Dos Autores, 2021.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. MAPAS RESTRITIVOS

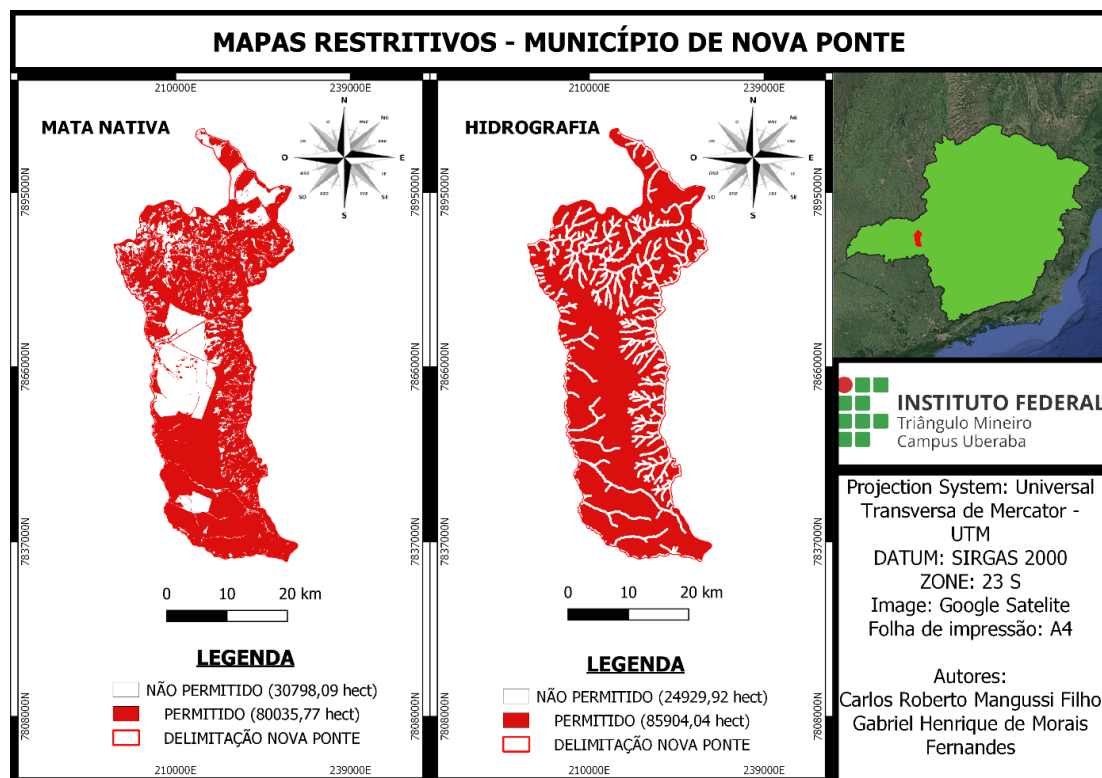
Os mapas restritivos para o município de Nova Ponte, abrangeu cinco parâmetros: declividade topográfica, núcleos populacionais (zona urbana), ferrovias, matas nativas (florestas ou reflorestamentos) e também os cursos d'água da região (Figura 3 e 4). As dutovias não passam no limítrofe do município, bem como também não se notam Áreas de Preservação Ambiental (APA) e manchas do bioma Mata Atlântica na região, vide o Cerrado ser predominante na região, conforme aspectos apresentados na área de estudo. Em contrapartida, em município pertencente ao estado de Minas Gerais, mais especificamente em Patrocínio, Rodrigues (2018), encontrou-se áreas do bioma Mata Atlântica e também três Unidades de Conservação (UCs).

Figura 3 – Mapas Restritivos para o Município de Nova Ponte - MG (Declividade, Zona Urbana e Ferrovia)



Fonte: Dos Autores, 2021.

Figura 4 – Mapas Restritivos para o Município de Nova Ponte - MG (Mata Nativa e Hidrografia).



Fonte: Dos Autores, 2021.

Por meio das representações cartográficas, (Figuras 3 e 4), se verifica alguns fatos propendentes no local de estudo, apresentando-se com uma região plana, marcada por 110294 mil hectares (99,36% do município) estando abaixo de 30% de declividade. Se torna perceptível a pequena mancha urbana, mesmo com a clareza de tais dados estarem com raios de 500 metros além deste, quando comparado a área territorial total do município, retornando que a cidade tem pontos de crescimento a serem explorados. Quanto à questão das ferrovias, a restrição é baixa, devido apenas uma destas estar dentro do perímetro municipal (ao sul), pertencente à empresa Ferrovia Centro Atlântica (FCA).

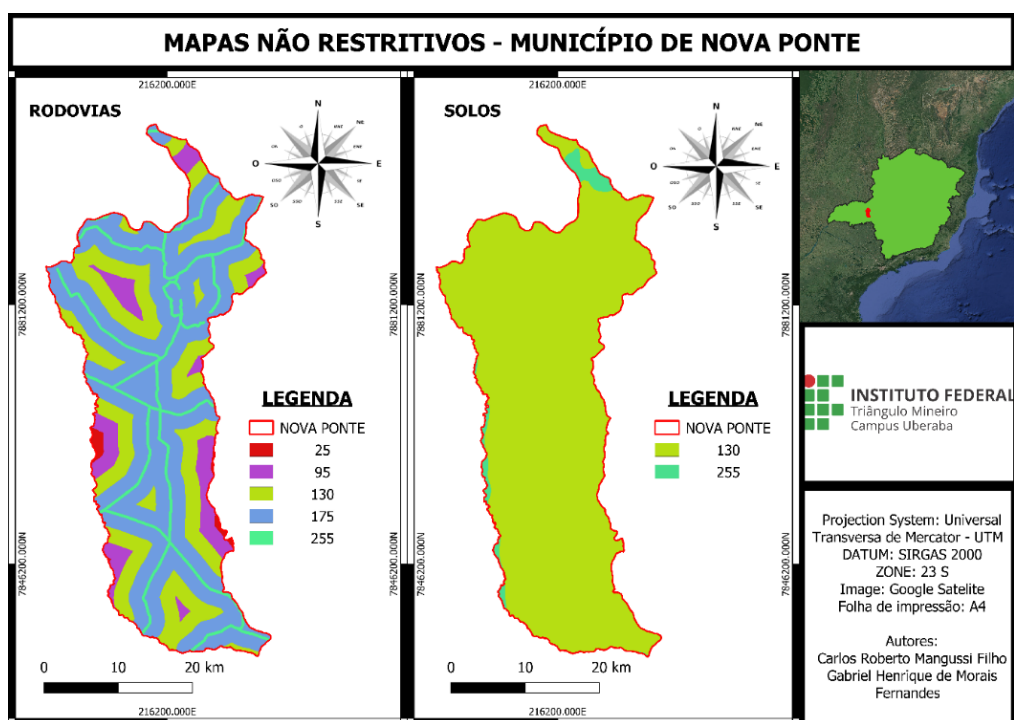
As matas nativas presentes apresentaram por volta de 27,74% de ocupação do solo no município, o correspondente a 30798 hectares, estes valores estão presentes no mapa de uso e ocupação do solo provenientes de recorte do MapBiomas. Estas áreas são totalmente restritivas quanto à instalação de aterros sanitários, no intuito de preservar os recursos naturais e funções ecológicas locais.

Seguindo o mesmo objetivo de preservação ambiental, foi gerado o mapa de hidrografia como restritivo de uso no estudo, apresentando ocupação por rios e entorno de 24929 hectares (22,45% do município).

3.2. MAPAS NÃO RESTRITIVOS

Os mapas não restritivos trabalham com valores escalonados e mostram consigo diferentes formas de avaliação do seu território de análise, podendo o pesquisador adotar mais ou menos parâmetros de observações. Para o presente estudo, no município de Nova Ponte, obteve-se como resultado, seis distinções: Rodovias, Solos, Zonas de Resíduos Sólidos Urbanos, Hidrografia da região, Geologia e Valor da Terra (Figura 5, 6 e 7).

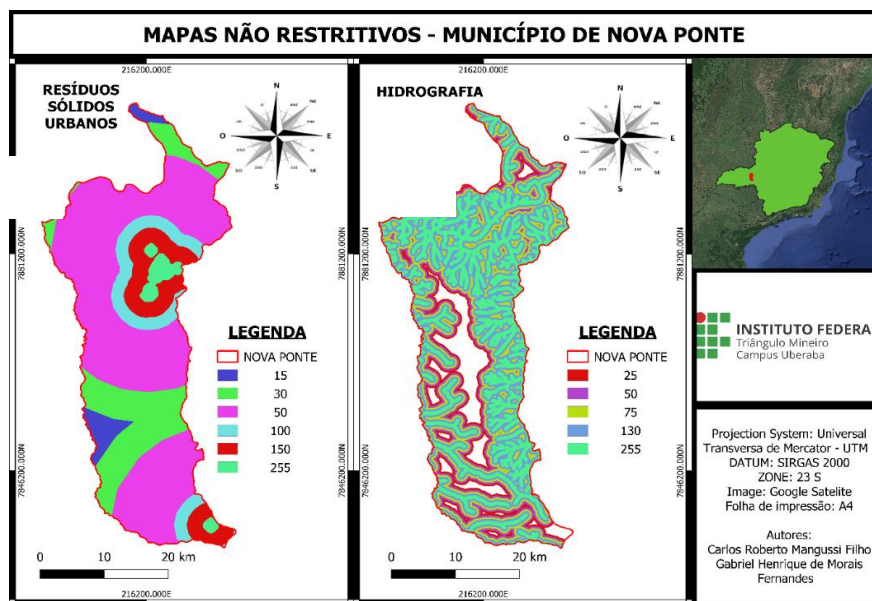
Figura 5 – Mapas Não Restritivos, Nova Ponte – MG (Rodovias e Solos)



Fonte: Dos Autores, 2021.

O mapa de solos mostra a abrangência de apenas dois tipos de solos dentro da região (Latosolos e Argissolos), com a predominância como mostrado pelo valor de cento e trinta (130) de Latossolos Distróficos (Figura 4B). O mapa de Resíduos Sólidos Urbanos é uma recriação escalonada do mapa de Zona Urbana, pois estes são formados em centros urbanos conforme conceito da Organização Pan-americana de Saúde (2005), dizendo que essa categoria inclui resíduos sólidos provindos de diversas atividades, ocorridas em perímetro urbano, tais como: atividade residencial, institucional, comercial, varrição e limpeza de áreas públicas, sendo que a gestão é de responsabilidade do próprio município (Figura 5C).

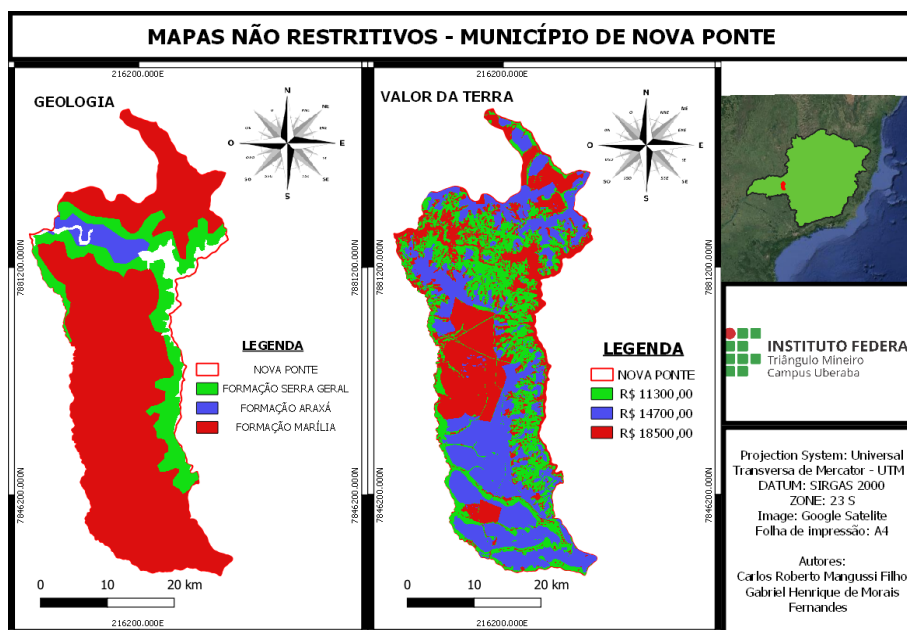
Figura 6 – Mapas Não Restritivos, Nova Ponte – MG (Resíduos Sólidos Urbanos e Hidrografia)



Fonte: Dos Autores, 2021.

O mapa de rodovias, mostra em sua tabela de atributos que o município está composto na maioria de estradas com pavimentação de leitos naturais, sendo que a principal rodovia que corta o município é a BR-452 de âmbito Federal (Figura 4A). A figura 7 apresenta o mapa de formações geológicas da região de estudo, bem como os valores de terra para a região, levando em consideração as ocupações, representadas ao fim da tabela 3. Sendo que a maioria da região tem o valor correspondente a R\$ 14700 reais/ha, dado as áreas agricultáveis.

Figura 7 – Mapas Não Restritivos, Nova Ponte – MG (Resíduos Sólidos Urbanos e Hidrografia)



Fonte: Dos Autores, 2021.

3.3. EASY AHP

O complemento Easy AHP retornou pesos aplicáveis aos parâmetros não restritivos na continuidade do processamento do estudo, isto ocorreu após o preenchimento de toda a tabela 7.

Tabela 7 – Matriz seis por seis com valores de definição iguais ao projeto

	Hidrografia	RSU	Rodovias	Solos	Geologia	Valor da Terra
Hidrografia	1	1	0,2	0,2	0,2	0,2
RSU	1	1	0,333	0,2	0,2	0,2
Rodovias	5	3	1	0,333	1	0,333
Solos	5	5	3	1	0,333	0,333
Geologia	5	5	1	3	1	0,333
Valor da Terra	5	5	3	3	3	1

Fonte: Acervo dos Autores, 2021.

O critério adotado para preenchimento restante da tabela recaiu sobre os parâmetros norteados da tabela 4, com os autores adotando a partir da experiência e observação regional as características da análise dos elementos presentes na região. O detalhamento se encontra na tabela 8.

Tabela 8 – Detalhamento das escolhas dos fatores

Ordem	Relação	Força	Peso adotado
1º	Solos Com Hidrografia	Forte	5
2º	Rodovias com Hidrografia	Forte	5
3º	Resíduos Sólidos Urb. com Hidrografia	Fraco	1
4º	Rodovias com Resíduos Sólidos Urb.	Moderado	3
5º	Solos com Resíduos Sólidos Urb.	Forte	5
6º	Solos com Rodovias	Moderado	3
7º	Geologia com Hidrografia	Forte	5
8º	Valor da Terra com Hidrografia	Forte	5
9º	Geologia com Resíduos Sólidos Urb.	Forte	5
10º	Valor da Terra com Resíduos Sólidos Urb.	Forte	5
11º	Geologia com Rodovias	Fraco	1
12º	Valor da Terra com Rodovias	Moderado	3
13º	Geologia com Solos	Moderado	3
14º	Valor da Terra com Solos	Moderado	3
15º	Valor da Terra com Geologia	Moderado	3

Fonte: Acervo dos Autores, 2021.

Os pesos retornados pelo complemento Easy AHP, após o complemento da tabela 8, para cada um dos parâmetros não restritivos se encontram na tabela 9.

Tabela 9 – Pesos Fornecidos pelo complemento Easy AHP para cada parâmetro analisado

Parâmetros	Pesos (Easy AHP)
Hidrografia	0,044
Resíduos Sólidos Urbanos	0,046
Rodovias	0,142
Solos	0,193
Geologia	0,216
Valor da Terra	0,359

Fonte: Acervo dos Autores.

Portanto, percebe-se que os parâmetros predominantes de maior peso dentro da matriz para a região delimitada são o Valor da Terra, Geologia e Solos. Rodrigues (2018) também obtiveram os mesmos resultados para o estudo realizado no município de Santa Juliana-MG.

Quanto da validação dos pesos, os valores de Lambda máximo (λ), Índice de Consistência (Ci) e Taxa de Consistência (CR), são demonstrados na tabela 10, conforme obtidos no Easy AHP. Verificando-se, portanto, que o CR está dentro do determinado para uma matriz quatro por quatro, que é igual ou menor que 0,1.

Tabela 10 – Dados de validação dos pesos

Parâmetros	Simbologia	Valor
Lambda Máximo	λ	6,536
Índice de Consistência	Ci	0,107
Índice de Consistência Aleatório	Ri	1,24
Taxa de Consistência	CR	0,086

Fonte: Acervo dos Autores, 2021.

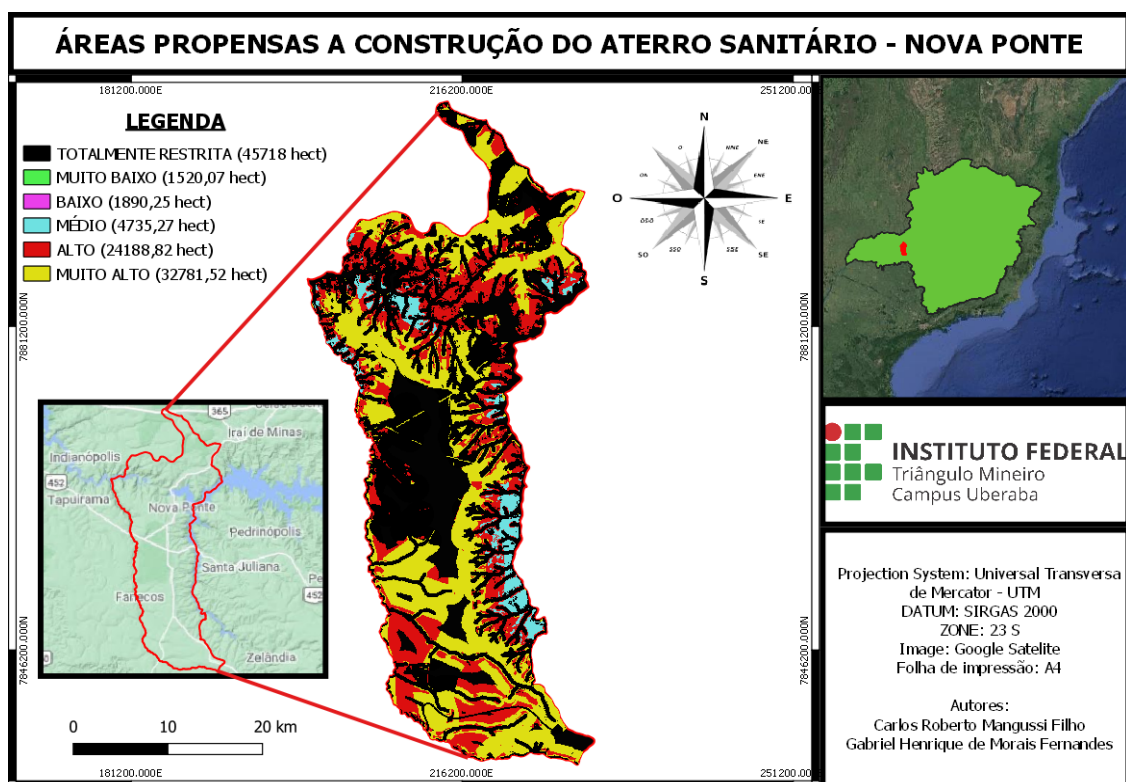
3.4. MAPA FINAL COM ÁREAS PROPENSAS A INSTALAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO

Com os pesos a interferir na construção do mapa final diagnóstico, mostram através de seis classes, os níveis de risco quando da instalação do aterro, sendo estas: totalmente restrita, muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto (Figura 8).

As áreas totalmente restritivas contemplam a maior porção da região, com 45718 hectares, correspondente a 41,18% do município. Boa parte tem a contribuição dos latossolos presentes na região, e segundo Freire (2009), esse tipo de solo apresenta-se de média a alta permeabilidade, a resultar em áreas de risco à construção de aterros. Born (2013) encontrou resultados semelhantes em seus estudos quando da determinação de áreas restritas para implementar um aterro sanitário, correspondente a 73,54% da área total analisada, no caso, Estrela do Sul,

Teutônia e Lajeado, todas pertencentes ao Estado do Rio Grande do Sul. Mas é bom salientar que talvez o critério de permeabilidade dos solos não seja totalmente um fator determinante na escolha de áreas aptas, a partir de que se faça e garanta uma boa instalação e também a operação da manta de impermeabilização nas valas do aterro sanitário (RODRIGUES, 2018). Outro parâmetro que constitui grande restrição, foi a predominância da Formação Marília no município, pois esta conforme tabela 3, recebe o maior peso possível dentro dos parâmetros não restritivos, devido ao maior risco de contaminação das águas subterrâneas presentes nesta formação. Em contrapartida, as manchas urbanas são pequenas no município, contando com 369 hectares em 2019, a corresponder a 0,33% do município. A região também é bastante plana, onde a declividade é um fator que pouco interfere na modelagem, colaborando com regiões auditáveis à aptidão.

Figura 8 – Níveis de risco quando da instalação do aterro sanitário no município de Nova Ponte - MG

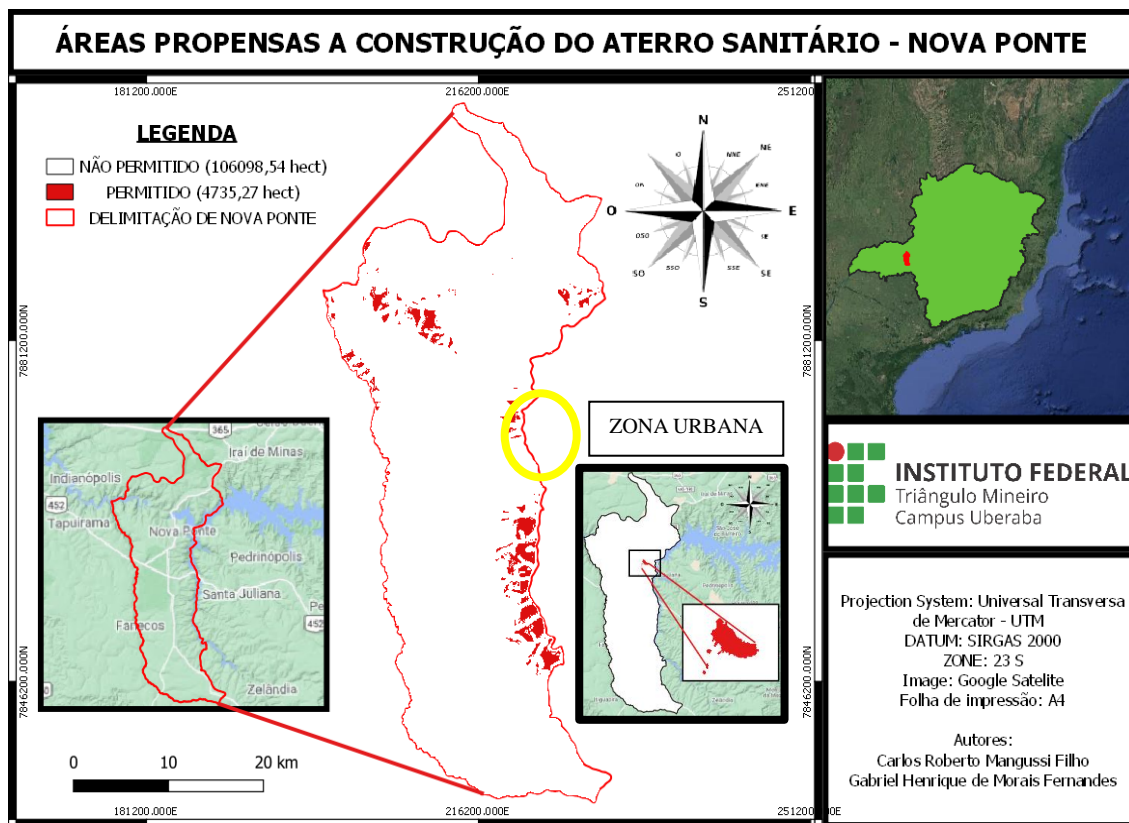


Fonte: Acervo dos Autores, 2021.

Após reclassificação realizada no mapa dos níveis de risco quando da instalação do aterro sanitário no município de Nova Ponte - MG (Figura 8) elaborou-se no SIG a reclassificação, a se agrupar as classes muito baixo, baixo e médio (Figura

9), conceituadas neste estudo como regiões com menores riscos quando da instalação de um aterro, evitando problemas ambientais futuros.

Figura 9 – Áreas aptas à instalação do aterro no município de Nova Ponte - MG




Fonte: Acervo dos Autores, 2021.

Como resposta das áreas aptas à construção de aterro sanitário no município de Nova Ponte mapeou-se segundo a metodologia AHP 4735,27 ha, a corresponder 4,27% do município. E, como área restritiva obtemos 106098,54 ha, representando mais de 95% da área total (Figura 9). Como área preferencial para montagem do aterro, apresentamos a área circundada em amarelo, devido ao fato de estar próxima ao núcleo urbano da região a facilitar mediante logística o transporte dos resíduos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia do processo Analítico Hierárquico (AHP) se mostrou eficiente quando da realização da análise multicritério, a favorecer a escolha de forma robusta das áreas propícias à instalação de aterros sanitários. Desta forma, 4,27%




da área total do município encontra-se apta à construção do aterro sanitário, de acordo com padrões técnicos e legislação vigente.

Os fatores de maior peso na modelagem proposta para o município, que geraram maior impacto na escolha das áreas propícias à construção dos aterros, foram: Valor da terra (0,359), Geologia (0,216) e Solos (0,193)

As regiões aptas à construção de aterros foram bem definidas perante todo o processo, distinguindo-se as áreas inaptas, a favorecer maior segurança quanto à questão de cuidados na preservação do ambiente.

REFERÊNCIAS

- BORN, Viviane. **Avaliação de aptidão de áreas para instalação de aterro sanitário com uso de ferramentas de apoio à decisão por múltiplos critérios**. 2013. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Universitário Univates, Lageado, 2013. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/374/1/VivianeBorn.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2021.
- BRITO, J. L. S. **ELABORAÇÃO DO MAPA DE SOLOS DA BACIA DO RIO ARAGUARI NA ESCALA DE 1:500.000**. II Simpósio Regional de Geografia. UFU – Instituto de Geografia. 2003.
- FREIRE, Gerson José de Mattos. **Análise de municípios mineiros quanto à situação de seus lixões**. 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/MPBB-7TXLZL>>. Acesso em: 01 dez. 2021.
- IBGE. **Cidades e Estados**. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/nova-ponte.html>>. Acesso em: 25 de agosto de 2021
- LIMA, L. M. Q. **Tratamento de Lixo**. São Paulo: Hemus Editora, 1985.
- OPS – Organización Panamericana de la Salud. **Informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe**. Washington, D.C.: 2005.
- PMSB. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Nova Ponte**. 2014. 25 p. Disponível em: <[!\[\]\(cf5be311f7b2821912d8009884508fa2_img.jpg\)](https://www.agenciaabha.com.br/_download.php?file=aHR0cDovL2FiaGFhcmFndWFyaS5vcmcuYnIvdXBsb2Fkcy8yX2JpYmxpb3RIY2EvMl9hY2VydM9fdGVjbmljby9wbGFub3NfbXVuaWNpcGFpc19kZV9zYW5lYW1lbnRvX2Jhc2ljby9ub3ZhX3BvbnRlL3BsYW5vX2RlX3RyYWJhbGhvLnBkZg==>. Acesso em: 7 de dezembro de 2021.</p></div><div data-bbox=)

- 
- RIBEIRO. L. M. M., **Avaliação quantitativa da segregação de resíduos sólidos recicláveis no município de Canoas – RS.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental; 24, 2007, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABES, 2007. p.11-17.
- ROCHA, Jansle Vieira. **O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NO CONTEXTO DO PLANEJAMENTO INTEGRADO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.** 2020. P 1-13.
- RODRIGUES, V.S; **DIAGNÓSTICO DA LOCAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO A PARTIR DO USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.** IFTM. Uberaba/MG. (2018)
- SIQUEIRA. H. E. et al. **Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Nova Ponte (MG).** 2015. Revista DAE. Disponível em: <DOI 10.4322/DAE.2015.010>. Acesso em: 28/09/2021
- TRAFICANTE, D. P.; MANZIONE, R. L. **TUTORIAL – APOIO A TOMADA DE DECISÃO USANDO PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO (AHP) NO QGIS.** 2016. Tutorial. UNESP/Tupã.
- VGR. **Como funciona o aterro sanitário?** 2018. Disponível em: <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/como-funciona-o-aterro-sanitario/>>. Acesso em: 28/09/2021
- WORKMAN, J. P.; KEEBLE, R. L. **Design and construction of liner systems.** In: CHISTENSEN, T. H.; COSSU, R.; STEGMANN, R. Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact. London: Academic Press, 1, 1989.

