

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE
SISTEMAS AMBIENTAIS**

Daniel Augusto Rodrigues Barreto

**MONITORAMENTO DO USO PÚBLICO EM TRILHAS DE ECOTURISMO COM
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA VOLUNTÁRIA (VGI): estudo de caso no Parque
Nacional da Serra do Gandarela**

Belo Horizonte
2024

Daniel Augusto Rodrigues Barreto

**MONITORAMENTO DO USO PÚBLICO EM TRILHAS DE ECOTURISMO COM
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA VOLUNTÁRIA (VGI): estudo de caso no Parque
Nacional da Serra do Gandarela**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientador: Prof. Vagner Braga Nunes Coelho

Belo Horizonte
2024

B273m
2024

Barreto, Daniel Augusto Rodrigues.

Monitoramento do uso público em trilhas de ecoturismo com informação geográfica voluntária (VGI) [manuscrito] : estudo de caso no Parque Nacional da Serra do Gandarela / Daniel Augusto Rodrigues Barreto. – 2024.

119 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientador: Vagner Braga Nunes Coelho.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2024.

Bibliografia: f. 94-105.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Ecoturismo – Minas Gerais – Teses. 3. Banco de dados geográficos – Teses. 4. Análise espacial (Estatística) – Teses. 5. Estatística não-paramétrica – Teses. I. Coelho, Vagner Braga Nunes. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 911.2:519.6(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Às **14:00** horas do dia **05 de dezembro de 2024** realizou-se, virtualmente, a sessão pública, para a defesa da Dissertação de **Daniel Augusto Rodrigues Barreto**. A presidência da sessão coube à **Vagner Braga Nunes Coelho**, orientador. Inicialmente, o presidente fez a apresentação da Comissão Examinadora assim constituída: **Sônia Maria Carvalho Ribeiro**, Universidade Federal de Minas Gerais e **Ivanildo Barbosa**, Instituto Militar de Engenharia. Em seguida, o candidato fez a apresentação do trabalho que constitui sua **Dissertação de Mestrado**, intitulada: "ANÁLISE EMPÍRICA DO ECOTURISMO E TURISMO DE NATUREZA COM VOLUNTEERED GEOGRAPHIC INFORMATION (VGI): ESTUDO DE CASO NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DO GANDARELA". Seguiu-se a arguição pelos examinadores e logo após, a Comissão reuniu-se, sem a presença do candidato e do público. Foi decidido considerar **aprovada** a **Dissertação de Mestrado**, mediante a realização de ajustes apontados pela banca. O resultado final foi comunicado publicamente à **Daniel Augusto Rodrigues Barreto** pelo presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o presidente encerrou a sessão e lavrou a presente ata que, depois de lida, se aprovada, será assinada pela Comissão Examinadora.

Belo Horizonte, 10 de dezembro de 2024.

Assinatura dos membros da banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Vagner Braga Nunes Coelho, Chefe de departamento**, em 10/12/2024, às 09:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ivanildo Barbosa, Usuário Externo**, em 10/12/2024, às 10:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sônia Maria Carvalho Ribeiro, Professora do Magistério Superior**, em 18/12/2024, às 17:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3790894** e o código CRC **47322D4E**.



**Programa de Pós-Graduação em
Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais**

**UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS**

Av. Antonio Carlos 6627,
Belo Horizonte, MG, 31.270-901
Tel: 55 31 3409-5404, 3049-5494
modelagem@igc.ufmg.br
www.csr.ufmg.br/modelagem

FOLHA DE MODIFICAÇÕES

As modificações exigidas na DISSERTAÇÃO do(a) aluno(a) **DANIEL AUGUSTO RODRIGUES BARRETO**, em 05 de dezembro de 2024, são relacionadas a seguir:

- Mudança do título da dissertação;
- Correção do resumo da dissertação, salientando melhor os resultados;
- Correção dos objetivos específicos;
- Reescrever alguns parágrafos da revisão bibliográfica.
- Revisão dos conceitos empregados no levantamento bibliográfico da pesquisa;
- Revisão das referências bibliográficas do trabalho;
- Criação de um fluxograma para sintetizar os procedimentos metodológicos;
- Correção do diagrama de classes OMT-G do trabalho;
- Correção da legenda de alguns mapas da dissertação;
- Tabelar o número de trilhas utilizadas na análise por tipo (a pé, motorizadas e com veículos movidos à tração humana);
- Elencar as contribuições do trabalho para as políticas públicas;
- Tabelar e segmentar, por município, os dados sobre uso e cobertura do solo para a área de análise e incorporar às contribuições do trabalho para as políticas públicas;
- Elencar as limitações dos procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa.

O prazo para entrega da versão final do trabalho com as modificações exigidas acima é de:

() 7 (sete) dias () 30 (trinta) dias (X) 90 (noventa)

dias () Outro (a critério da comissão): _____ dias

ficando responsável pela verificação destas o professor: Vagner Braga Nunes Coelho

Daniel Augusto R. Barreto

Assinatura do Aluno



Documento assinado digitalmente
VAGNER BRAGA NUNES COELHO
Data: 01/09/2025 09:51:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Professor Orientador

Após cumprida as exigências:

Atesto que as modificações exigidas foram integralmente cumpridas.

Belo Horizonte, 01 de setembro de 2024.



Documento assinado digitalmente
VAGNER BRAGA NUNES COELHO
Data: 01/09/2025 09:51:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Professor Orientador



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

"ANÁLISE EMPÍRICA DO ECOTURISMO E TURISMO DE NATUREZA COM VOLUNTEERED GEOGRAPHIC INFORMATION (VGI): ESTUDO DE CASO NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DO GANDARELA"

DANIEL AUGUSTO RODRIGUES BARRETO

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia **05 de DEZEMBRO de 2024**, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Vagner Braga Nunes Coelho - Orientador

Universidade Federal de Minas Gerais

Sônia Maria Carvalho Ribeiro

Universidade Federal de Minas Gerais

Ivanildo Barbosa

Instituto Militar de Engenharia

Belo Horizonte, 10 de dezembro de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Vagner Braga Nunes Coelho, Chefe de departamento**, em 10/12/2024, às 09:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ivanildo Barbosa, Usuário Externo**, em 10/12/2024, às 10:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sonia Maria Carvalho Ribeiro, Professora do Magistério Superior**, em 18/12/2024, às 17:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3790895** e o código CRC **A2F41C04**.

Referência: Processo nº 23072.271290/2024-10

SEI nº 3790895

AGRADECIMENTOS

A toda minha família, em especial aos meus pais, Gilmar e Aurilene e ao meu irmão, Pedro, pelo suporte indispensável para minha caminhada acadêmica e por tudo que representam em minha vida.

À minha noiva, Carol, por todo carinho e amor que, certamente, serviram de alento para superar os momentos difíceis.

A todos os professores que tive em minha vida, pelo exercício de uma profissão indelével para a formação cidadã.

Ao meu orientador, professor Vagner, por todo suporte, paciência e disponibilidade, fatores fundamentais para o lograr deste trabalho.

Aos integrantes da banca, professores Ivanildo e Sônia, pelo aceite ao convite e pelas contribuições, que foram essenciais ao trabalho final.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, pelas excelentes aulas e disciplinas, importantíssimas para a formação acadêmica e profissional dos discentes.

Aos diversos funcionários do Instituto de Geociências, como porteiros, zeladores, técnicos de laboratórios e técnicos administrativos, pela excelência no serviço prestado para manutenção das instalações físicas e pelo serviço operacional, crucial para o cumprimento do objetivo final da instituição.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa CAPES, essencial para o desenvolvimento desta dissertação.

À Universidade Federal de Minas Gerais, pelo ensino de excelente qualidade e sua importância, enquanto instituição, para toda sociedade brasileira.

A todos os amigos que fizeram parte da minha caminhada na Geografia, em especial, Edson, Bernardo, Jaqueline e Felipe.

A todos os colegas da Modelagem, pelo convívio caloroso ao longo dos semestres. Em especial, para Lucimar, cuja parceria foi essencial em várias disciplinas.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado, por 24 meses, que permitiu a realização do trabalho.

Por fim, a todos os amigos que fazem parte da minha vida, para além das barreiras de tempo e espaço.

RESUMO

O ecoturismo vem recebendo destaque nas últimas décadas por se tratar de uma modalidade turística associada diretamente com a valorização do meio ambiente em um mundo no qual a temática ambiental adquire caráter fundamental. De forma consonante, buscam-se maneiras de planejar e incentivar a oferta ecoturística. Entretanto, no âmbito das unidades de conservação, há o desafio de se garantir a sustentabilidade do uso público diante da sobrecarga de atrativos turísticos, fator que pesa contra a sustentabilidade do ecoturismo local. O objetivo da presente dissertação foi investigar a distribuição espacial e a densidade das trilhas no Parque Nacional da Serra do Gandarela (PNSGa), analisando os fatores que influenciam a criação e manutenção dessas trilhas, como pontos de interesse naturais. Para atingi-lo, foi necessário passar por etapas como a modelagem de um banco de dados geográficos e seu preenchimento com dados de *Volunteered Geographic Information* (VGI), obtidos com técnicas de *web scraping* empregadas no site Wikiloc, bem como mapeamento colaborativo e próprio de atrativos. A avaliação da intensidade do uso turístico da região foi feita por meio da análise de densidade de trilhas pela estimativa de densidade *kernel* para dados espaciais do tipo linha. Posteriormente, com a ferramenta de estatísticas zonais, foram extraídas estatísticas descritivas referentes à densidade, particularmente, a média e o desvio-padrão, sobrepostas pelas feições poligonais de municípios e polígonos de Voronoi, gerados a partir de 58 atrativos mapeados na área de estudo. Por fim, foi realizada a análise de autocorrelação espacial, expressa no emprego do método *Local indicators of spatial association* (LISA), para verificação do índice de Moran local e univariado, que demonstrou a ocorrência de clusters de alta e baixa densidade ao longo da área de estudo, para diferentes tipos de trilhas, como a pé, com veículos motorizados e veículos com tração humana. Os resultados demonstraram que os municípios de Rio Acima, Nova Lima, Caeté e Raposos figuram com as maiores médias de densidade, além de Itabirito, que conta com uma das maiores densidades em alguns tipos de trilhas, como motorizadas e com veículos por tração humana. Particularmente nos casos de Rio Acima, Raposos e Nova Lima, um fator que contribui para isso é a proximidade das manchas urbanas dos municípios para com o PNSGa, o que não é o caso de municípios com menores médias de densidade, como Santa Bárbara. O resultado da análise por atrativos foi sumariado em uma síntese do uso público no PNSGa, na qual se observa um uso intenso em atrativos situados, principalmente, no município de Rio Acima, próximo a cachoeiras e mirantes. Outros municípios que se encontram na categoria de uso intenso são Nova Lima, Caeté, Raposos e Itabirito (próximo a Rio Acima). Itabirito apresenta um uso público moderado nas demais porções. Por fim, os municípios de uso público incipiente são Santa Bárbara e Ouro Preto. Os resultados convergiram com outros estudos realizados para a área, corroborando que há municípios e atrativos que, de fato, são muito ou pouco pressionados pelo ecoturismo na região.

Palavras-chave: ecoturismo; banco de dados geográficos; modelagem de dados espaciais; *volunteered geographic information*; *web scraping*; mapeamento colaborativo; estimativa de densidade Kernel; densidade de linha; diagrama de Voronoi; índice de Moran local; *LISA*.

ABSTRACT

Ecotourism has been gaining prominence in recent decades as a type of tourism directly associated with the appreciation of the environment in a world in which environmental issues have become fundamental. Accordingly, there are ways to plan and promote ecotourism. However, within conservation units, there is the challenge of ensuring the sustainability of public use in the face of the overload of tourist attractions, a factor that weighs against the sustainability of local ecotourism. The objective of this dissertation was to investigate the spatial distribution and density of trails in the Serra do Gandarela National Park (SGNP), analyzing the factors that influence the creation and maintenance of these trails, as natural points of interest. To achieve this, it was necessary to go through steps such as modeling a geographic database and filling it with Volunteered Geographic Information (VGI) data, obtained with web scraping techniques used on the Wikiloc website, as well as collaborative and in-house mapping of attractions. The intensity of tourist use in the region was assessed by analyzing trail density using kernel density estimation for line-type spatial data. Subsequently, using the zonal statistics tool, descriptive statistics were extracted regarding density, particularly the mean and standard deviation, overlaid by the polygonal features of municipalities and Voronoi polygons, generated from 58 attractions mapped in the study area. Finally, a spatial autocorrelation analysis was performed, using the Local Indicators of Spatial Association (LISA) method, to verify the local and univariate Moran's index, which demonstrated the occurrence of high and low density clusters throughout the study area, for different types of trails, such as walking, motorized vehicles and human-powered vehicles. The results showed that the municipalities of Rio Acima, Nova Lima, Caeté and Raposos have the highest average densities, in addition to Itabirito, which has one of the highest densities in some types of trails, such as motorized and human-powered vehicles. Particularly in the cases of Rio Acima, Raposos and Nova Lima, a contributing factor is the proximity of the urban areas of the municipalities to the SGNP, which is not the case of municipalities with lower average densities, such as Santa Bárbara. The result of the analysis by attractions was summarized in a synthesis for public use in the SGNP, in which intense use was observed in attractions located mainly in the municipality of Rio Acima, close to waterfalls and viewpoints. Other municipalities that are in the intense use category are Nova Lima, Caeté, Raposos and Itabirito (close to Rio Acima). Itabirito presents moderate public use in the other portions. Finally, the municipalities with incipient public use are Santa Bárbara and Ouro Preto. The results converged with other studies carried out in the area, corroborating that there are municipalities and attractions that, in fact, are subject to a lot or little pressure from ecotourism in the region.

Keywords: ecotourism; geographic databases; spatial data modeling; volunteered geographic information; web scraping; collaborative mapping; Kernel density estimation; line density; Voronoi diagram; local Moran's index; LISA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS	16
Quadro 1: Caracterização da Oferta Ecoturística por Ecotemas	25
Figura 2: Níveis de abstração de aplicações geográficas	35
Figura 3: Relação entre a construção dos territórios digitais e as teorias disciplinares	37
Equação 1: Fórmula básica da estimativa de densidade Kernel	39
Figura 4: O cálculo da densidade de linha	40
Equação 2: Fórmula da densidade de linha	40
Figura 5: Exemplo da geração de polígonos de Voronoi a partir de pontos	41
Equação 3: Índice de Moran	42
Equação 4: Índice de Moran para matriz de pesos espaciais e dados amostrais padronizados (Anselin, 1995)	43
Equação 5: Índice local de autocorrelação espacial (LISA).	43
Figura 6: Regras de vizinhança.	44
Figura 7: Gráfico de dispersão do I de Moran para amostras padronizadas.	44
Figura 8: Print screen de uma tela do site Wikiloc	47
Figura 9: Mapa de Uso e Cobertura do Solo na Região do Parque Nacional da Serra do Gandarela em 2021	49
Figura 10: Fitofisionomias da região do Parque Nacional da Serra do Gandarela, de acordo com o Inventário Florestal de 2009	51
Quadro 2: Estatísticas de visitantes no Parque Nacional da Serra do Gandarela	52
Quadro 3: Síntese do Uso Público do PNSGa	52
Figura 11: Fluxograma da dissertação	53
Figura 12: Diagrama do Banco de Dados Geográfico da pesquisa	55
Quadro 4: Descrição detalhada do diagrama de classes	55
Figura 13: PrintScreen do site exibindo os resultados para trilhas que contém o texto “Serra do Gandarela”	58
Algoritmo 1: Pseudocódigo para acessar o site e realizar o login (biblioteca RSelenium)	58
Algoritmo 2: Pseudocódigo para raspagem de dados e download de trilhas (.gpx)	59
Algoritmo 3: Código para unir os atributos textuais à geometria de cada trilha	60
Figura 14: Densidade de todas as trilhas no Parque Nacional da Serra do Gandarela	64
Figura 15: Densidade Kernel para as trilhas com veículos motorizados no Parque Nacional da Serra do Gandarela	66
Figura 16: Densidade Kernel para as trilhas a pé no Parque Nacional da Serra do Gandarela.	68
Figura 17: Densidade Kernel para as trilhas com transportes de tração humana no Parque Nacional da Serra do Gandarela	70
Figura 18: Diagrama de Voronoi para os atrativos na área de estudo	73
Figura 19: Média da densidade de todas as trilhas para cada polígono de Voronoi na área de estudo	74
Figura 20: Método LISA e significância estatística para os polígonos de Voronoi com a média de densidade de todas as trilhas	74
Quadro 5: Hotspots e coldspots nos polígonos de Voronoi - gerados a partir dos atrativos - para todas as trilhas	75
Figura 21: Média da densidade das trilhas realizadas com veículos motorizados para cada	

polígono de Voronoi na área de estudo	78
Figura 22: Método LISA e significância estatística para os polígonos de Voronoi com a média de densidade das trilhas com veículos motorizados	78
Quadro 6: Hotspots e coldspots nos polígonos de Voronoi - gerados a partir dos atrativos - para as trilhas realizadas com veículos motorizados	79
Figura 23: Média da densidade das trilhas a pé para cada polígono de Voronoi na área de estudo	81
Figura 24: Método LISA e significância estatística para os polígonos de Voronoi com a média de densidade das trilhas a pé	82
Quadro 7: Hotspots e coldspots nos polígonos de Voronoi - gerados a partir dos atrativos - para as trilhas a pé	82
Figura 25: Média da densidade das trilhas com veículos de tração humana para cada polígono de Voronoi na área de estudo	85
Figura 26: Método LISA e significância estatística para os polígonos de Voronoi com a média de densidade das trilhas com veículos de tração humana	85
Quadro 8: Hotspots e coldspots nos polígonos de Voronoi - gerados a partir dos atrativos - para as trilhas realizadas com veículos de tração humana	86
Quadro 9: Proposta de síntese do uso público do PNSGa com base nos dados e análises da pesquisa	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade de trilhas de cada tipo utilizadas na análise	61
Tabela 2: Médias das densidades de todas as trilhas por município abrangido pelo Parque	65
Tabela 3: Médias das densidades das trilhas realizadas com veículos motorizados por município abrangido pelo Parque	67
Tabela 4: Médias das densidades das trilhas realizadas a pé por município abrangido pelo Parque	69
Tabela 5: Médias das densidades das trilhas realizadas com veículos por tração humana por município abrangido pelo Parque	70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Objetivos.....	19
1.2 Justificativa e relevância.....	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 O ecoturismo e o turismo na natureza.....	21
2.2 Políticas ambientais e o uso público em áreas protegidas.....	28
2.3 Geoprocessamento, SIG e Banco de Dados Geográficos.....	31
2.3.1 Definições.....	31
2.3.2 Banco de Dados Geográficos.....	34
2.3.3 Métodos de análise espacial.....	38
2.3.3.1 Estimativa de densidade Kernel.....	38
2.3.3.2 Polígonos de Voronoi.....	41
2.3.3.3 Índice de Moran.....	41
2.4 Informação Geográfica Voluntária e a avaliação do uso público em áreas protegidas....	45
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	48
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	53
4.1 Modelo de banco de dados.....	54
4.1.1 Modelar abstratamente o ecoturismo na região do Parque Nacional da Serra do Gandarela por meio de diagramas de classe.....	54
4.1.2 Implementação do banco de dados.....	56
4.2 Web scraping.....	57
4.2.1 Algoritmo para obtenção de dados.....	57
4.2.2 Saneamento de dados.....	59
4.3 Análise espacial de dados.....	61
4.3.1 Estimativa de densidade kernel, estatísticas descritivas e overlays.....	61
4.3.2 Polígonos de Voronoi e LISA.....	63
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
5.1 Mapas de densidade de trilhas a pé, com veículos de tração humana e veículos motorizados e estatísticas descritivas.....	64
5.2 Análise de polígonos de Voronoi e LISA.....	72
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
6.1 Sugestões para trabalhos futuros e contribuição para políticas públicas.....	92
REFERÊNCIAS.....	94
ANEXOS.....	106

1 INTRODUÇÃO

A discussão sobre as relações entre as sociedades e o meio ambiente é premente no mundo contemporâneo. Abordagens que buscam alternativas conservacionistas aos padrões de vida e consumo urbano modernos, que conduziram à atual crise ambiental global, estão recebendo cada vez mais espaço na academia, setores público, privado e terceiro setor. As incompatibilidades entre os padrões de produção e consumo contemporâneos e a conservação, fazem com que os grupos citados tracem estratégias para mitigar os impactos sociais e ambientais das práticas humanas, cada vez mais divulgados e relevantes ao debate público (Brasil, 2008). Nesse esteio, encontra-se o ecoturismo, modalidade de turismo alternativo concebida como uma alternativa ao turismo de massa, o qual é visto como "predatório" e prejudicial às populações e natureza dos locais em que é praticado (Fennell, 2002).

Os princípios ecoturísticos vieram, desde suas proposições nos anos 80, como uma maneira de compatibilizar a atividade turística aos anseios de oferecer retorno financeiro às comunidades e populações tradicionais, visando, também, o mínimo impacto ambiental. Naturalmente, para atingir tais objetivos, essa proposta desconstruiu a maneira como a indústria do turismo deve operar, substituindo o interesse monotônico pelo lucro, inerente a várias atividades econômicas, por uma abordagem racionalizada, que prioriza o meio ambiente, sem com isso abrir mão do desenvolvimento. Como exemplo, a Agenda 2030, expressa na Resolução de 25 de setembro de 2015 na Assembleia Geral das Nações Unidas, salienta a importância do turismo sustentável, particularmente nos objetivos 8, "Emprego digno e crescimento econômico"¹ e 12, "Consumo e produção responsáveis"², que buscam associar o desenvolvimento sustentável do turismo à geração de empregos que promovam as culturas e produtos locais (ONU, 2015).

¹ "8.9 By 2030, devise and implement policies to promote sustainable tourism that creates jobs and promotes local culture and products"

² "12.b Develop and implement tools to monitor sustainable development impacts for sustainable tourism that creates jobs and promotes local culture and products"

Apesar das intenções explicitadas desde quando o conceito foi criado, novas perspectivas e debates foram surgindo, tornando a definição de ecoturismo disputada, de modo que não exista um consenso sobre seu significado (Pires, 1998; Bezerra, 2009). Muito embora o impasse acerca de definições seja comum no âmbito científico, a dificuldade em significar o ecoturismo é um desafio para a operacionalização do conceito (Fennell, 2015). As pesquisas que utilizam o conceito para diversas finalidades cresceram nas últimas décadas, especialmente em se tratando da prática em áreas protegidas, o que indica sua relevância na área ambiental (Hasana *et al.*, 2022).

No Brasil, as Diretrizes para a Política Nacional do Ecoturismo entendem a modalidade como

“um segmento da atividade turística que utiliza, de forma sustentável, o patrimônio natural e cultural, incentiva sua conservação e busca a formação de uma consciência ambientalista por meio da interpretação do ambiente, promovendo o bem-estar das populações envolvidas” (Brasil, 1994, p. 19).

Dessa forma, pode-se inferir a importância das áreas protegidas e as práticas ecoturísticas como meios de cumprir diversos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS - (Figura 1), sendo que, mais destacadamente, pode-se citar a meta de número 15, que estabelece “proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade.” (ONU, 2015, p.20).

Figura 1: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS



Fonte: ONU, 2015.

Tendo em vista que o ecoturismo está vinculado a áreas específicas em que pode ser praticado, nota-se um elemento geoespacial que é inerente à sua definição e

operacionalização. De fato, análises geoespaciais de fenômenos e objetos tidos como ecoturísticos são constantemente realizadas, salientando tanto aspectos quantitativos, como qualitativos (Hasana *et al.*, 2022). Davis Jr *et al.* (2009) comentam sobre como a criação de políticas ambientais é resultado da coleção de um grande volume de informação geograficamente localizada. Por se tratarem de informações críticas para a execução de políticas de interesse social, é importante que elas sejam de amplo acesso público, argumentam os autores, sob o risco de que falte a transparência necessária para com a sociedade. Ademais, tornar público o acesso a essas informações constitui uma maneira democrática de lidar com questões ambientais, agregando a participação de inúmeras partes sociais interessadas. Entretanto, muitos tipos de dados carecem de cobertura por parte de órgãos oficiais, o que demanda alternativas para sua obtenção.

Um aspecto importante a se salientar é que as informações geográficas voluntárias (*Volunteered Geographic Information* - VGI, na sigla em inglês), ou obtidas por mapeamento colaborativo, podem ser importantes fontes para estudos do turismo na natureza (Astaburuaga *et al.*, 2022). O uso do mapeamento colaborativo se tornou relevante na área do planejamento urbano, com a disseminação de dados do *Open Street Map* (Machado & Camboim, 2019). Haja vista que existem desafios consideráveis para a análise da prática turística em UCs, pode-se considerar a utilização de dados VGI como amostras em estudo com essa finalidade. Os dados de VGI têm se mostrado fontes relevantes para estudos sobre turismo na natureza e ecoturismo. Ademais, diversos registros de atividades ecoturísticas em plataformas sociais podem ser convertidos em dados espaciais explícitos, o que ajuda a superar limitações dos métodos tradicionais de coleta, como questionários e monitoramento de usuários (Chai-Allah *et al.*, 2023 *apud* Havinga *et al.*, 2020; Wood *et al.*, 2013). No entanto, os estudos sobre turismo baseado na natureza utilizando mídias sociais ainda são escassos, especialmente fora dos EUA e Europa (Da Mota e Pickering, 2020), e enfrentam desafios, como a variação no número de usuários e publicações. Apesar dessas limitações, essas plataformas oferecem um grande potencial para pesquisas diversas, dada sua crescente utilização por um público cada vez mais amplo e diversificado.

Ainda que sejam de reconhecida relevância, o uso público de Unidades de Conservação (UC) como os Parques Nacionais no Brasil sofre com limitações no planejamento e estrutura para receber os visitantes e manejar adequadamente sua visitação, especialmente em parques carentes de plano de manejo (Castro, 2018). Um caso do gênero se situa nas proximidades de Belo Horizonte (MG). No limite entre a Serra do Espinhaço e o Quadrilátero Ferrífero, encontra-se o Parque Nacional da Serra do Gandarela. Baggio (2021) comenta sobre como o ecoturismo ocorre há mais de 40 anos na região e de forma desorganizada, apesar da criação do parque ter se dado apenas em 2014, por meio do Decreto Presidencial de 13 de outubro do mesmo ano (Brasil, 2014). No caso em tela, o monitoramento da visitação, para que seus atributos naturais sejam devidamente protegidos, é necessário e deve dispor de diferentes meios para sua realização, sob risco de que o turismo se desenvolva de maneira predatória. É preciso que os diferentes usos turísticos e ecoturísticos do parque sejam elencados e propriamente analisados.

Diante desse cenário, pode-se levantar as seguintes questões:

- Tomando-se a região do Parque Nacional da Serra do Gandarela como estudo de caso, como se pode avaliar o ecoturismo ali praticado?
- Além disso, como realizar essa avaliação empiricamente, de maneira objetiva e menos custosa do que verificação em campo?
- Quais são os padrões espaciais de densidade das trilhas na unidade de conservação?
- A densidade das trilhas é maior nas proximidades de cachoeiras e outras atrações naturais?

Em vista de tais perguntas, as hipóteses de pesquisa, que não se excluem mutuamente, são de que dados geoespaciais associados aos fenômenos e objetos ecoturísticos avaliados podem apresentar suas características ambientais e sociais, das quais será possível, de posse de um conceito de ecoturismo, operacionalizado por meio da modelagem de dados VGI, avaliar os padrões espaciais das trilhas frequentadas pelos usuários. Ademais, com relação aos padrões espaciais das trilhas, espera-se que a densidade de trilhas seja maior nas proximidades das cachoeiras e mirantes do que em outras áreas da unidade de conservação, uma vez que se tratam de pontos de interesse que atraem mais visitantes, resultando em um

aumento na densidade de trilhas nas suas imediações (Leung & Marion, 2000; Manning, 2004).

No âmbito do Parque Nacional da Serra do Gandarela, espera-se que os resultados dialoguem com estudos que abordam os impactos do uso público em seus limites (Silva *et al.*, 2022). Alguns usos públicos não sustentáveis, como veículos *off-road* e até mesmo a travessia a pé de visitantes, sobrecarregam certos atrativos, como cachoeiras (Santos *et al.*, 2021). Esses são alguns fatores que pesam contra a sustentabilidade do ecoturismo local.

1.1 Objetivos

Em vista dos aspectos levantados, o objetivo geral da presente dissertação foi investigar a distribuição espacial e a densidade das trilhas no Parque Nacional da Serra do Gandarela. O objetivo secundário foi analisar os fatores que influenciam a criação e manutenção dessas trilhas, como pontos de interesse naturais.

1.2 Justificativa e relevância

Há grande importância dos dados geoespaciais na sociedade atual, particularmente no âmbito de criação e avaliação de políticas públicas, as quais buscam aderir a princípios científicos em suas concepções e operacionalizações.

O conceito de ecoturismo tem tido operacionalizações que consideram apenas critérios globais (Lacerda *et al.*, 2019). Assim sendo, a avaliação empírica do ecoturismo no contexto do Parque Nacional da Serra do Gandarela, por estar inserido na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e por se tratar de uma unidade de conservação com notável endemismo, possibilita garantir que os objetivos de conservação do uso público do parque estão sendo alcançados de forma mais detalhada. A presente dissertação apresenta o potencial de servir como instrumento de gestão, pois se o ecoturismo não estiver sendo sustentável com base nos critérios levantados, pode demandar intervenções no uso público do parque e pode influenciar na elaboração do plano de manejo.

O aspecto geoespacial supracitado é uma forma empírica padronizada de avaliar o ecoturismo. Pode demandar trabalhos posteriores em campo, porém a partir de dados geoespaciais, é possível avaliar de forma remota o ecoturismo, suscitando reflexões sobre o VGI e sua importância para o estudo do ecoturismo. O VGI é capaz de fornecer um panorama do uso público que acontece num local, algo que os dados oficiais podem não oferecer. Dessa forma, subjaz à pesquisa uma avaliação da utilidade do VGI para aplicações científicas na área de ciências ambientais, possivelmente tendo aderência à gestão pública, especialmente se se considerar que as Infraestruturas de Dados Espaciais (IDEs) de terceira geração incorporam a participação pública (Silva *et al.*, 2018).

Por fim, a pesquisa incorporará um modelo de dados geográficos, que tem como peculiaridade ser um modelo baseado em entidades e relacionamentos que refletem objetos e fenômenos geográficos, que estão, muitas vezes, interrelacionados geograficamente ou topologicamente. Além disso, um modelo de dados pode ser replicável a outros estudos sobre o tema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O ecoturismo e o turismo na natureza

O turismo carrega em suas definições, especialmente aquelas econômicas e estatísticas, o deslocamento de pessoas e os retornos financeiros obtidos dessa atividade, muitas vezes não apresentando reflexões sobre as experiências humanas. Enquanto disciplina, o turismo pode abarcar definições e reflexões da psicologia, sociologia, antropologia, geografia, etc. (Fennell, 2002), de modo que é razoável aceitar a diversidade de definições, atendendo a diferentes objetivos (Smith, 1990). A definição dada por Fennell (2002) é de que o turismo é um sistema que interrelaciona turistas e serviços associados, fornecidos para movimentação do turista, conceituação esta que converge à concepção da Organização Mundial do Turismo - OMT .

Pode-se considerar a atração turística como elemento fundamental da experiência turística. A atração há muito tempo é vista como principal motivação para viagem (Fennell, 2002 *apud* Gunn, 1972). As atrações da natureza podem ser estáticas ou transitórias espaço-temporalmente, como, por exemplo, pássaros que o turista deseja observar.

Embora o turismo seja visto como um incentivador do desenvolvimento em certas regiões, existem riscos ecológicos e sociológicos inerentes à atividade. É o caso do turismo de massa, que gera impactos sociais e ambientais de difícil governança (Fennell, 2002). O turismo alternativo surge como contraponto, tendo como atributos gerais a pequena escala, o prefixo “eco” complementado por “sustentável”, “campestre”, “responsável”, etc., buscando um caminho distinto ao turismo convencional.

O debate acerca do ecoturismo é demasiado amplo e recebeu atenção de diversas publicações acadêmicas (Layrargues, 2004; Neiman, 2010), muitas das quais se debruçaram exclusivamente ao esforço de conceituar tal modalidade turística, tanto em seus aspectos subjetivos, ligados à motivação do praticante, quanto aos aspectos objetivos, como os locais em que se praticam e as relações sociais que se

desdobram em tais espaços.

Ainda assim, há uma convergência ao se considerar o ecoturismo como integrante de uma estratégia para o desenvolvimento sustentável, tendo a possibilidade de gerar retorno social e a de influir numa abordagem conservacionista dos recursos naturais (Bruhns, 2010). Para Mendes Júnior e Ferreira (2010), a ambição em delimitar com precisão o ecoturismo,

“tornou-se uma exigência muito rigorosa que foi levada aos extremos pelo pensamento reducionista. Não podemos deixar de considerar que sempre há zonas de transição e sobreposição entre as diferentes modalidades de turismo que se pretende delimitar, o que, de alguma forma, representa um problema numa abordagem administrativa demasiadamente rigorosa.” (p. 372)

A busca pela definição do ecoturismo, de acordo com Wight (1993), deve ser encarada não pela busca de uma instância ou produto único, mas como espectro de fatores de oferta e demanda. Por fatores de oferta, entenda-se a natureza e resiliência dos recursos, comunidades e culturas locais, tipos de acomodações, etc. Já os fatores de demanda seriam tipos de atividades ou experiências, grau de interesse em recursos naturais ou culturais, grau de esforço físico.

Costa (2002) enumera em seu livro cinco características gerais do Ecoturismo, a saber: 1. Apresenta como motivação principal de seus praticantes a observação e apreciação da natureza e das culturas tradicionais de áreas naturais; 2. Apresenta elementos educacionais e interpretativos; 3. Organizado especialmente para pequenos grupos e por pequenas empresas locais; 4. Visa o impacto mínimo aos aspectos naturais e socioculturais e; 5. Contribui para a proteção de áreas naturais gerando renda e emprego para as comunidades locais. Tais características apresentam similaridade com um documento produzido pelo Ministério do Turismo (BRASIL, 2008), que cita, destacadamente, a "utilização sustentável do patrimônio natural e cultural" (p. 17), a "busca de uma consciência ambientalista pela interpretação do ambiente" (p.17) e a "promoção do bem-estar das populações" (p. 18) como três pilares da conceituação e fundamentos da atividade ecoturística. Tal como Costa (2002, p. 9-10), que fala em "observação e apreciação da natureza", o Ministério do Turismo (2008) diferencia a prática ecoturística em dois grupos, de

observação e contemplação. Considerando que a autora posteriormente usa a palavra "contemplação" como motivação principal do ecoturismo, pode-se dizer que há uma proximidade na definição.

Diamantis (1999) coloca as definições de ecoturismo em dois pólos, representando os extremos no qual todo turismo pode ser considerado ecoturismo e o oposto que afirma que o ecoturismo é impossível. Ambos os lados estão vinculados a posturas, respectivamente, passivas, para minimizar os impactos, e ativas, para proteção de recursos, de modo que, de uma para outra, há um crescimento expressivo do nível de responsabilidade humana. No primeiro polo, a preocupação é apenas em criar condições e favorecer as práticas em ambientes naturais, ignorando a postura ativa e consciente de conservação.

Pires (1998) entende o ecoturismo como oriundo do turismo alternativo, particularmente sendo um conceito empregado para denominar atividades variadas que conjugam o turismo e ambientes naturais, com reduzida interferência humana e com a presença de comunidades tradicionais. No entanto, de acordo com o autor, muitos setores da sociedade definem o ecoturismo de formas concorrentes, como aqueles que têm interesses comerciais e de prestação de serviços turísticos, governos e órgãos oficiais, organizações não governamentais de viés ambientalista, populações residentes em áreas de prática, o público praticante e a Academia que pesquisa o tema. Passando pelas diversas perspectivas mencionadas, o autor sumariza o ecoturismo como, dentre outras variações possíveis, integrante do "turismo na natureza" (Pires, 1998, p. 87) e salienta seu prefixo "eco", que remete à natureza como *locus* central desta modalidade de turismo. Complementa:

"Dessa forma todo e qualquer ecoturismo supõe, antes de tudo, o turismo na natureza, a natureza elevada à condição de motivadora primordial da iniciativa turística, em seu estado natural sem alterações humanas significativas." (Pires, 1998, p.88)

Ceballos-Lascurain (1991), em uma das primeiras definições conferidas ao conceito, diferencia o turismo de massa e o ecoturismo também em relação à postura para com a natureza, sendo a postura passiva aquela que a tem como cenário, sem uma preocupação com seus aspectos interpretativos e contemplativos. Por sua vez, o ecoturismo recebe, da parte de seus praticantes, uma postura ativa com relação à

vida selvagem e aos recursos naturais, por meio de fotografias da natureza, estudos botânicos e observação de fauna. Não obstante, essa definição chegou a ser vista como pertencente ao polo passivo da definição de ecoturismo elaborada por Diamantis (1999), dado que ressaltava principalmente as características naturais do local visitado.

Ceballos-Lascuráin (1996) salienta portanto o cenário que recebeu o mínimo de alterações humanas como importante para o ecoturismo, considerando, inclusive, que este está englobado num conceito mais amplo, o de turismo baseado na natureza, ou *nature-based tourism*, o qual inclui atividades de maior impacto ambiental, como *moto-cross*, *off-road*, navegação motorizada, pesca e caça. A diferença, complementa Pires (1998), estaria no fato de que o maior impacto relativo das últimas práticas citadas conflituava com a postura conservacionista que é peculiar ao ecoturismo.

Quando a natureza é vista apenas como cenário, e não somente um dos elementos constituintes do ecoturismo, ainda que centrais, pode-se considerar, de acordo com Pires (1998), que se trata apenas de turismo baseado na natureza, enquanto o ecoturismo deve contribuir para as áreas em que ele é praticado. Com relação a essa contribuição, pode-se inferir que, além do efeito positivo na economia local, a atividade turística possa incentivar a conservação de áreas com potencial ecoturístico. Nesse sentido, para o autor, o diferencial do ecoturismo com relação ao turismo na natureza seria a postura do praticante, que buscaria efeitos sociais positivos para os países ou regiões receptoras da prática, além de seus objetivos individuais.

Costa (2002) cita Bozzano (2001) ao comentar sobre uma proposta para oferta do ecoturismo em termos mundiais, com base em aspectos de interesse e recursos das áreas de prática, chamados ecotemas. Com base nisso, caracteriza-se a oferta ecoturística a partir de três pontos: por ecotemas, os ambientes com os quais estes correspondem e a respectiva significação das práticas ali desempenhadas, como se pode ver no Quadro 1. Esse tipo de abordagem é interessante pelo diferencial da significação de cada prática, que incorpora seu propósito ao ambiente em que é praticado.

Quadro 1: Caracterização da Oferta Ecoturística por Ecotemas

ECOTEMAS	AMBIENTES	SIGNIFICAÇÃO
Paisagem e ecossistemas de montanha, glaciares, vulcanismo.	Áreas de montanha, vulcões, altiplanos.	Valorização paisagística, conhecimentos de fenômenos geológicos e formas de vida.
Biodiversidade, ecossistemas, fauna e flora.	Áreas de selva, bosques, manguezais, alagados e uma gama variada de ecossistemas.	Interpretação de interrelações e processos dos ecossistemas, espécies de flora e fauna relevantes.
Espeleologia.	Cavernas, grutas.	Formações geológicas, elementos singulares, usos antrópicos, traços culturais, biota.
Biota e paisagens marinhas, avifauna, flora e geologia.	Zonas marinho-costeiras.	Caracterização de paisagens, formações geológicas e biota associada.
Insularidade, geomorfologia, fragilidade, adaptação.	Ambientes insulares, arquipélagos.	Caráter de isolamento, análise de processos de evolução e diferenciação de unicidade e endemismo de espécies, intervenção antrópica.
Manejo da água, hidrologia, conservação de nascentes.	Áreas lacustres, quedas d'água e rotas fluviais.	Contemplação da paisagem, valores de produção, uso e conservação dos recursos hídricos. Obras humanas e usos.
Termalismo.	Fontes termais, balneários, mananciais e águas minerais.	Propriedades medicinais e de recuperação na natureza. Interesse por lugares e práticas tradicionais, banhos rituais.
Interação entorno cultural-ambiente natural.	Áreas culturais históricas, centros e monumentos, zonas arqueológicas, entornos naturais e urbanos.	Valores testemunhais, singularidade e diferenciação histórico-cultural relevante, ecologia humana.
Etnografia, integração ecocultural.	Territórios indígenas, comunidades tradicionais, assentamentos.	Identidade cultural, adaptação ao meio, entornos naturais modificados por práticas tradicionais, convivência cultural.
Agronaturalismo.	Espaços rurais, paisagem cultural ou adaptada.	Produção sustentável, cultivos agroecológicos, processos de recuperação de solos, reflorestamento, agroreflorestamento.

Fonte: Araújo, C. V. F. de. (2003 *apud* Costa, P. C., 2002)

Neiman e Mendonça (2000), a partir da definição do ecoturismo de Lindberg & Hawkins (1996), como sendo a visita responsável a pontos turísticos que preserve meio ambiente e o bem-estar das populações locais, inferem que é possível dizer que a existência de tais conjuntos naturais com valor ecológico e paisagístico motivaram a prática ecoturística, buscando a inserção econômica de regiões não desenvolvidas. As populações presentes geralmente contam com um forte vínculo com a natureza, da qual obtêm seu sustento e vinculam sua cultura, sendo que a manutenção do bem-estar seria criar condições e oportunidades para o desenvolvimento econômico sustentável, contribuindo com as populações

autóctones. Nesse sentido, Bruhns (2010), comenta que não são incomuns iniciativas ecoturísticas, na teoria bem intencionadas, mas que trouxeram apenas prejuízos aos povos locais na prática, buscando somente atender ao interesse comercial despertado por atividades na natureza. Isso se dá pelo chamado "mito da natureza intocada", que visa um ideal de natureza como algo virginal, isto é, sem a interferência de atividades humanas, nem mesmo as conservacionistas de povos originários (Diegues, 1996).

Um caso internacional de destaque foi o da implantação do Parque Yosemite nos EUA, que veio a partir da expulsão dos indígenas da etnia Ahwahneechee e dos garimpeiros brancos que ali habitavam (Garrard, 2006 *apud* Bruhns, 2010). Um projeto fracassado no Brasil foi o da Estação da Jureia-Itatins, no litoral sul do estado de São Paulo, no qual a ineficaz manutenção da infraestrutura da área fez com que os indígenas caiçaras, sem possibilidade de se manter, apesar da criação do parque, migrassem para áreas urbanas, onde se tornaram subempregados e favelados (Bruhns, 2010). Neiman e Mendonça (2000) também se queixaram da criação de unidades de conservação carentes de pessoal, planos de manejo e orçamento escasso, que não cumpria com a necessidade de investimentos. Percebe-se, com base nos autores citados, como o ecoturismo não prescinde do elemento humano, isto é, dos povos locais, muitos dos quais com estilo de vida tradicional e que precisam do meio natural como forma de sustento. Ademais, é importante inferir, daí, a necessidade premente de que a prática ecoturística seja apoiada com infraestrutura diversa, pois para que ela ocorra será necessário o suporte de vias de acesso, saneamento básico, instalações de apoio, serviços de resgate e primeiros socorros, etc.

Faz-se perceptível, portanto, a natureza social do fenômeno ecoturístico. De acordo com Layrargues (2004), no debate sobre o ecoturismo são predominantes as visões da proteção ambiental e dos benefícios econômicos potenciais. Porém, a abordagem não releva o aspecto socioeconômico do Ecoturismo, o que limita o espectro de ações possíveis para que ele possa trazer benefícios comuns. Segundo o autor, quando apenas sujeito aos agentes de mercado, o ecoturismo alimentará distorções de ordem econômica, trazendo benefícios às agências de turismo com sede nas grandes cidades. Uma vez centrada em tais agentes econômicos, a

atividade ecoturística criaria uma percepção da natureza como produto, para a qual as populações ali presentes seriam um incômodo ou, no máximo, um elemento cenográfico, com pouca participação nos benefícios econômicos trazidos pela prática.

Além disso, Neiman e Mendonça (2000) apontaram para o pouco benefício em termos de conservação da natureza e das culturas proporcionados pela atividade exclusivamente empreendedora, que cria uma percepção de que o mero contato com a natureza já é suficiente, e o objetivo do ecoturista tão somente colecionar paisagens e pontos turísticos conhecidos. O contraponto viria, a partir de Layrargues (2004), pela busca do ecoturismo de base comunitária, fomentado e organizado pelo Estado, no sentido de possibilitar a justiça social e a geração de renda a ser aproveitada pelas pequenas comunidades. Nele, a prática ecoturística tem diversas dimensões, como a natureza, a história e a cultura, as quais são indissociáveis, e não apenas a natureza como no mito da natureza intocada, que já fora aludido. Neiman e Mendonça (2000) propõem um enfoque na educação ambiental como um direcionamento para a prática ecoturística, para que não apenas seu potencial mercadológico seja explorado.

Segundo Hintze (2009), no Brasil o ecoturismo apresenta essa ligação com a possibilidade de ser trabalhado em conjunto à educação ambiental. Para Pires (2002 *apud* Hintze, 2009), o aspecto educativo se agrega aos critérios de sustentabilidade (ambiental, social, cultural e econômica) e envolve a participação das comunidades locais. Também Hintze (2009) aponta que agências turísticas são relutantes em incluir pressupostos de educação ambiental em seus pacotes, alegando que isso afastaria seus clientes. Considerando-se as Diretrizes da Política Nacional do Ecoturismo, que fala abertamente em "consciência ambientalista" (Brasil, 1994, p. 19), a política das citadas empresas acaba por criar obstáculos para essa visão em particular de ecoturismo. É importante que, de acordo com os instrumentos legais e as reflexões teóricas aqui expostas, que se possa propor uma abordagem diferente de ecoturismo, que contemple a possibilidade do ganho comunitário em suas práticas. É necessário, para isso, que se disponha de elementos objetivos para a avaliação do uso público em áreas protegidas.

2.2 Políticas ambientais e o uso público em áreas protegidas

Ao tratar do ecoturismo, invariavelmente se volta para as discussões sobre a temática ambiental. O atual contexto mundial, de pressão sobre os recursos naturais e seus impactos associados, traz ao debate público a necessidade de estratégias que busquem a conservação ambiental e sua conciliação com o desenvolvimento socioeconômico. A partir de meados do século XX, há um ponto de viragem e a abordagem dos problemas ambientais passa a ser tida como merecedora de atenção global, o que fica explícito nas conferências realizadas no âmbito da Organização das Nações Unidas, que adquirem notável periodicidade (Barros *et. al*, 2012). No cenário internacional, até a década de 60, o conceito de desenvolvimento foi sinônimo de crescimento econômico (Barros *et. al*, 2012). Na década de 70 a Organização das Nações Unidas (ONU), na Conferência sobre o Meio Ambiente Humano em 1972, mais conhecida como Declaração de Estocolmo (Suécia), trouxe uma considerável mudança no campo da discussão sobre o meio ambiente (Dotto & Cunha, 2010 *apud Ibid*). Seu objetivo central foi tratar da poluição gerada pelas emissões de gases relacionadas às atividades das indústrias (Maglio, 2000 *apud Ibid*).

Também na década de 70, em função dos Choques do Petróleo, ocorridos em 1973 e 1979, com a percepção de que o petróleo era um bem escasso, passou-se a discutir, para além dos efeitos da emissão de gases, o impacto exercido pelas atividades humanas nos recursos naturais (Magrini, 2001). Pensou-se, então, na maneira como os países poderiam intervir na gestão do quadro ambiental, de modo a criar mecanismos para controlar a escassez de recursos. Em 1992 foi realizada a segunda Conferência das Nações Unidas relacionada a políticas ambientais, a ECO 92. Sediada no Rio de Janeiro, ela consolidava a perspectiva de desenvolvimento sustentável, proposto em Relatório das Nações Unidas no ano de 1987, intitulado "Nosso Futuro Comum" (*idem*, 2001). Esta conferência teve como sucessoras a Rio +10 (2002) e a Rio +20, as quais tiveram, em termos de processo histórico, menor relevância para a discussão.

Em 1992, foi realizada a segunda Conferência das Nações Unidas relacionada a políticas ambientais, a ECO 92. Sediada no Rio de Janeiro, ela consolidava a

perspectiva de desenvolvimento sustentável, proposto em Relatório das Nações Unidas no ano de 1987, intitulado "Nosso Futuro Comum" (Magrini, 2001). Ainda na conferência ECO 92, por meio da Agenda 21, deu-se destaque à utilização de Sistemas de Informação Geográfica e da informação geográfica para gestão ambiental. Ela estabeleceu que todos os países, especialmente aqueles em desenvolvimento, "devem obter acesso às técnicas modernas de manejo dos recursos terrestres tais como sistemas de informações geográficas, imagens/fotografias feitas por satélite e outras tecnologias de sensoriamento remoto." (Brasil, 1992, p. 64).

Especificamente no âmbito brasileiro, Magrini (2001) aponta a consonância do desenvolvimento das políticas nacionais relativas ao meio ambiente com o âmbito internacional. A década de 70 constituiu, também, um período de inovações no âmbito das instituições, com a formação da Secretaria de Meio Ambiente (SEMA) e pelo surgimento de diversos órgãos estaduais. De acordo com a autora, constituíram-se de antecedentes o Código das Águas de 1934, a Lei de Proteção de Florestas de 1965, a Lei de Proteção da Fauna de 1967, etc. No entanto, o verdadeiro marco da política ambiental genuinamente brasileira se deu em 1981, com a Lei 6.938 (Brasil, 1981), que instituiu a Política e o Sistema Nacional do Meio Ambiente, que contava com instrumentos que ainda vigoram no país, como o Sistema de Unidades de Conservação, o Sistema Nacional de Informações Ambientais, a Avaliação de Impactos Ambientais, dentre outros. Ainda de acordo com Magrini (2001), a Constituição Federal promulgada em 1988 acabou por agregar autonomia aos municípios na política ambiental, de modo que hoje não se pode falar que a política ambiental brasileira é integradora, dado que os estados e municípios contam com leis próprias concernentes a alguns temas, como o licenciamento ambiental.

A instituição de diversos instrumentos da política ambiental acabou por discutir a implementação de uma Política Nacional de Ecoturismo (Brasil, 1994). No documento com as diretrizes para tal proposta, é dito que o ecoturismo é discutido desde 1985 no Brasil, enquanto em 1987 ocorreu o primeiro esforço de monitorar o chamado Turismo Ecológico, tendo em vista que as práticas em território nacional desta modalidade eram pouco organizadas e sustentáveis. Apenas no documento

de 1994 surge um esforço de avançar no debate conceitual e de planejamento do ecoturismo, buscando organizar a atividade e trazer benefícios de amplo espectro, ambientais e sociais, ao país.

Dentre as estratégias adotadas por diversos países, a categoria de parque nacional, um tipo de Unidade de Conservação (UC), é a mais adotada (Omena & Hanazaki, 2022). A lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) estabelece o Parque Nacional - PARNA - como uma unidade de proteção integral que tem como objetivo a “preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico.” (Brasil, 2000). Trata-se, portanto, de uma categoria que prima pela proteção ambiental aliada a diversos usos pela sociedade, diferentemente das demais categorias, que são relativamente mais restritivas à visitação pública.

O PARNA atende aos objetivos do SNUC no que diz respeito ao turismo ecológico ou ecoturismo, uma modalidade turística que é tida há várias décadas no país como uma alternativa de desenvolvimento sustentável, isto é, a utilização racional de recursos naturais que não comprometa sua capacidade de renovação ou conservação (Brasil, 1994).

Ainda abordando a faceta do desenvolvimento sustentável, outro aspecto que converge os objetivos do SNUC (Brasil, 2000) com a Política Nacional de ecoturismo (Brasil, 1994), de acordo com a conceituação supracitada, é a relevância dada em ambos à participação de populações tradicionais e locais nos assuntos que dizem respeito às UCs, como sua criação, administração e sustentabilidade econômica. As diretrizes que orientam o ecoturismo no país elencam que, dentre os benefícios econômicos e sociais da prática, destacam-se a geração local de empregos, a fixação da população no interior, a criação de alternativas de arrecadação para as UCs e a melhoria nos equipamentos das áreas protegidas (Brasil, 1994).

Castro (2018) observa que o uso público em muitas unidades de conservação brasileiras é severamente limitado, partindo dos argumentos da falta de plano de

manejo e carência de estrutura para recepção de visitantes, mesmo em locais nos quais já existiam práticas turísticas e excursionistas. Isso constitui, segundo o autor, uma situação inédita diante dos cenários internacionais sobre criação de áreas protegidas, tanto em países desenvolvidos, como naqueles em desenvolvimento. Historicamente, observa-se que a criação de áreas protegidas em diversos países se deu após a identificação e uso público de áreas com potencial de recreação e contemplação (Eagles & McCool, 2002), algo que também se deu no Brasil (Lucena, 2006). Essas constatações vão de encontro ao cenário atual, no qual apenas 38 dos 72 parques nacionais brasileiros registram visitantes, além de que um número inferior apresenta infraestrutura adequada para recepção do público (Souza *et al.*, 2018).

2.3 Geoprocessamento, SIG e Banco de Dados Geográficos

2.3.1 Definições

Pelo fato de o trabalho demandar a concepção de um modelo formal de um Banco de Dados Geográficos (BDG), será necessário discorrer a respeito desta área do conhecimento, que tem o BDG como um dos seus elementos constituintes. Geoprocessamento denota, de acordo com Câmara *et al.* (2001 *apud* Menezes e Fernandes, 2018) uma disciplina que faz uso de técnicas próprias dos campos da computação e matemática para tratar informações geográficas. Utilizando-se bases georreferenciadas, pode-se dizer que o geoprocessamento engloba os processos de aquisição, organização, tratamento e análise de dados terrestres, como expresso na Modelagem Numérica de Terreno (MNT), sensoriamento remoto, BDG, o Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* - GPS, na sigla em inglês) e Sistema de Informação Geográfica (Menezes e Fernandes, 2018). O último deles, o SIG, materializa os conceitos do geoprocessamento, uma vez que é um sistema que integra *hardware*, *software*, e procedimentos para trabalhar com as informações geográficas, bem como operar a análise espacial a partir da matemática, estatística e camadas de informação, integrando dados de diversas fontes (Menezes e Fernandes, 2018; FICCDC, 1988; Antenucci *et al.*, 1991).

No âmbito das Ciências Ambientais, atualmente a aplicação do geoprocessamento se faz essencial, uma vez que as tecnologias de sensoriamento remoto para

aquisição de imagens da superfície terrestre, bem como as capacidades computacionais para tratamento e análise de dados geográficos constituem uma revolução na lida com a representação espacial, contribuindo para as técnicas cartográficas e a análise de dados terrestres (Alves, 1990; Câmara *et al.*, 2001). Além disso, segundo Menezes e Fernandes (2018), suas aplicações revelam o caráter multidisciplinar do geoprocessamento, uma vez que pode ser utilizado nas áreas de análise ambiental, planejamento urbano e regional, levantamento de recursos, controle de redes de transporte, etc.

Como aponta Câmara (2001), “Sempre que o onde aparece, dentre as questões e problemas que precisam ser resolvidos por um sistema informatizado, haverá uma oportunidade para considerar a adoção de um SIG.” (p.1-1). Assim sendo, o SIG se revela, no âmbito do geoprocessamento, como um conjunto de ferramentas sistematizadas de crucial relevância para lidar com todo tipo de informação passível de ser espacializada, algo que o universo computacional concebe como georreferenciamento. Trata-se da identificação dos dados com suas posições reais no espaço, algo que se faz necessário porque sem a referência geográfica ocorrem erros que impedem as aplicações diversas do SIG de forma correta. É preciso que se tenha, portanto, um sistema de coordenadas espaciais que ofereça um lastro do real às informações utilizadas, possibilitando a utilização do sistema com a devida fundamentação em objetos ou fenômenos identificáveis na superfície terrestre.

A representação digital de dados constitui um desafio do geoprocessamento. De acordo com Bernhardsen (1999), “todo modelo é baseado em uma abstração do mundo real diante da impossibilidade de reprodução da paisagem e seus processos nos mínimos detalhes em sistemas computacionais” (p. 212). Assim sendo, a funcionalidade do geoprocessamento está sujeita à sua capacidade de estar além simplesmente de uma cartografia aos moldes tradicionais que se adapte ao ambiente computacional. Ela deve, ao mesmo tempo, possibilitar a produção de informações espaciais imbuídas de um referencial concreto na realidade e se valendo do potencial dos computadores, capazes de produzir análises e feições geométricas com maior precisão e rapidez do que as competências manuais do ser humano de representar o espaço. Além disso, não pode extrapolar o limite possível de abstração do mundo, o que aconteceria caso fossem desenvolvidos modelos

excessivamente distantes dos limites peculiares ao comportamento de objetos e fenômenos reais.

Assim sendo, a representação de dados se divide em duas estruturas de dados básicas, baseadas em objetos e em campo, os quais correspondem, na prática, a modelos vetoriais e matriciais (*raster*) (Menezes e Fernandes, 2018). A estrutura vetorial de dados se dota de uma abordagem baseada em objeto, na qual os objetos são identificados de forma individual e são possuidores de coordenadas próprias, ocorrendo uma decomposição dos elementos reais em básicos, representados graficamente por ponto, linha e polígono (Câmara, 2001). Estes objetos gráficos estão associados ao conceito de generalização cartográfica, sendo determinado pela escala dos dados de entrada, portanto a cada escala se muda o tipo de representação.

Um fundamento para a representação vetorial é a topologia, sendo que sua necessidade se dá na identificação por parte do *software* das relações de adjacência entre objetos digitalizados ou justapostos, pois em tais processos pode ocorrer um erro de composição de dados que se conectam e estes sejam erroneamente representados (Câmara, 2001). Ademais, pode ser importante ressaltar tais conexões entre objetos na representação vetorial, fazendo com que os mesmos figurem na tabela de atributos das camadas vetoriais com seus respectivos valores, tornando a justaposição dele a outros dados como capaz de acontecer sem erros de posicionamento. Por exemplo, na representação de uma rede viária, a conexão das vias é estabelecida a partir de relação topológica, uma vez que suas ligações são entendidas enquanto uma articulação que possibilita trajetos. Algumas ferramentas, como análise de redes, para citar um outro exemplo, só são viáveis uma vez que se tenha identificada a conexão entre as geometrias que representam os objetos.

Por sua vez, a estrutura de dados *raster* é baseada em campo, de modo que o espaço geográfico é dividido em uma grade de células (*pixels*) de diferentes dimensões (Câmara, 2001). Estas células são dotadas de valores que contam com as diferentes quantidades ou características de determinados locais e que são armazenados em camadas de informação. A qualidade da representação em *raster* depende da resolução espacial, isto é, o tamanho do menor objeto do espaço real

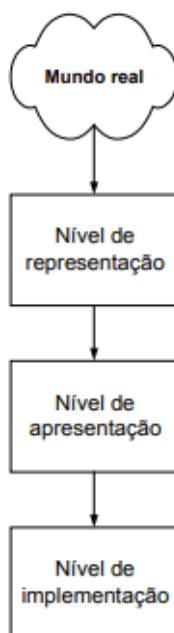
passível de ser representado, sendo tal resolução a dimensão linear das células. Como exemplo, um mapa de uso do solo em que cada *pixel* é associado a uma tipologia de uso.

As diferentes formas de representação espacial aqui discutidas são essenciais para que se possa conduzir a construção do modelo de dados. No tópico a seguir, será detalhada a forma como o mundo real pode ser manejado para a representação em ambiente computacional, valendo-se da forma como é construído um BDG.

2.3.2 Banco de Dados Geográficos

O processo de aplicação do geoprocessamento a problemas ambientais e sociais parte da etapa de simplificação da realidade dos fenômenos e objetos geográficos em conceitos para que, posteriormente, possam ser traduzidos em representações computacionais passíveis de serem analisadas (Casanova *et al.*, 2005). Esse procedimento é uma maneira de lidar com o problema fundamental da Ciência da Geoinformação (Casanova *et al.*, 2005), que é desdobrado a partir do paradigma dos quatro universos (Gomes e Velho, 1995): universo do mundo real, universo matemático ou conceitual, universo de representação e universo de implementação (figura 2).

Figura 2: Níveis de abstração de aplicações geográficas



Fonte: Davis Jr. (2000)

O propósito da modelagem ontológica é, na ordem de etapas, migrar de um universo ontológico para um universo formal. Após a definição de atributos da etapa anterior, passa-se para o estabelecimento das classes, considerando seus critérios de aplicabilidade. De acordo com Câmara (2001), pode-se formular a seguinte questão: "Que critérios deve satisfazer um conceito para que seja utilizável em estudos quantitativos associados à geoinformação?" (p. 1-23). A qual é respondida pelo autor, em seguida:

- O conceito deve ser passível de ser associado a propriedades mensuráveis.
- Estas propriedades devem ser medidas no território e devem permitir diferenciar as diferentes localizações.
- Os resultados quantitativos e os modelos matemáticos utilizados devem ser validados em estudos de campo, que devem incluir dimensões objetivas e subjetivas do fenômeno em questão." (Câmara, 2001, p. 1-23)

Para desenvolver um modelo formal centrado no ecoturismo, elencando as classes de objetos ligadas ao ecoturismo, é preciso que eles atendam aos critérios acima descritos. O resultado parcial da modelagem ontológica é a elaboração das classes que serão destrinchadas no modelo formal.

A principal peculiaridade dos BDG é a necessidade de se trabalhar com profissionais

multidisciplinares, fora do escopo imediato de profissionais da Tecnologia da Informação, uma vez que, na modelagem desse tipo de banco de dados, é necessário que se compreenda as relações entre os elementos georreferenciados que, além da geometria e comportamento em *software* de computador, apresentam características geográficas (Furtado *et al.*, 2018).

Borges *et al.* (2005) apontam como a migração de objetos e fenômenos geográficos para o ambiente computacional, a princípio, contava com limitações, nas quais os usuários precisavam se restringir aos parâmetros do SIG utilizado para conduzir a modelagem de dados. Ainda segundo os autores, com o passar do tempo, surgiram novas formas de modelar dados geográficos que davam conta de adaptar a complexidade do que é idealizado pelo usuário, possibilitando maior liberdade no processo. Afinal, “A modelagem do mundo real é uma atividade complexa porque envolve a discretização do espaço como parte do processo de abstração, visando obter representações adequadas aos fenômenos geográficos.” (*idem*, 2005, p. 84)

De acordo com Smith e Mark, 1998 (*apud* Câmara, 2001), para os objetos geográficos em particular, a geo-ontologia apresenta dois tipos de conceitos, aqueles que correspondem a fenômenos físicos, como ocorrência de vegetações diversas e aqueles que representam entidades da sociedade e suas instituições, como limites territoriais. Também de acordo com Câmara (2001), as entidades geo-ontológicas podem ser dispostas em dois conceitos, a saber, entidades individualizáveis ou geo-objetos (montanha, lote) e entidades com variação contínua, geo-campos (temperatura, desenvolvimento humano).

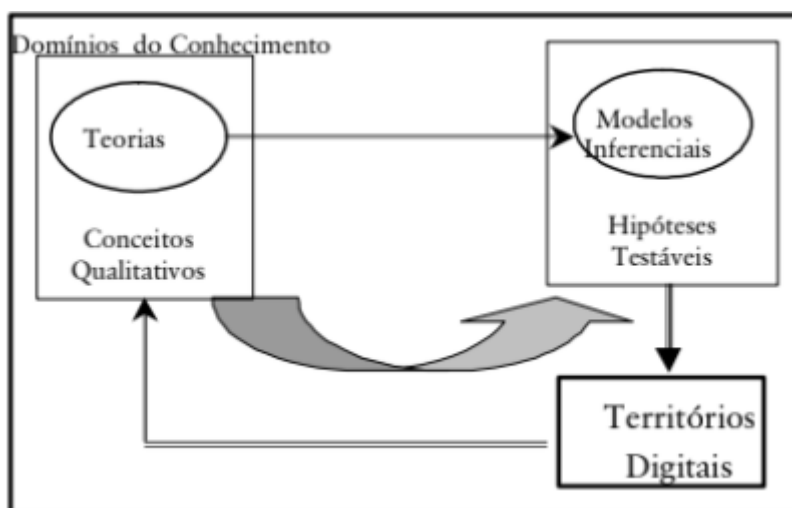
Após a revisão conceitual, passa-se para a construção de um modelo lógico-matemático que abstrai o objeto ou fenômeno real e os modela em diagramas onde as classes de dados, suas estruturas e relações são explicitadas. No universo estrutural, compreendem-se as estruturas de dados que servirão para a construção do sistema computacional, como quais algoritmos levarão adiante a construção de métodos para o modelo formal, integrante do universo anterior. Particularmente no caso da representação de dados espaciais, os dois tipos de estrutura de dados mais usuais são vetoriais e matriciais. Finalmente, na implementação, consolida-se a representação da realidade no meio computacional, lidando com linguagens de

programação e *softwares* para armazenar e processar os dados representativos do modelo anteriormente concebido. O autor sintetiza as etapas da seguinte maneira:

"Primeiro, precisamos dar nomes às entidades da realidade. Depois, geramos modelos formais que as descrevem de forma precisa. A seguir, escolhemos as estruturas de dados e algoritmos que melhor se adaptam a estes modelos formais. Finalmente, fazemos a implementação num suporte computacional apropriado." (Câmara, 2001. p. 1-6)

Considerando-se os apontamentos do autor e adaptando para o caso em questão, é necessário que se definam quais atributos caracterizam as práticas ecoturísticas e como elas podem ser medidas e dispostas no território, com o propósito de construção de um território digital, como é possível observar na Figura 3, a seguir.

Figura 3: Relação entre a construção dos territórios digitais e as teorias disciplinares



Fonte: Câmara (2005)

Ainda segundo Câmara (2001), é necessário que os atributos sejam mensuráveis a partir de modelos inferenciais quantitativos, "submetidos a testes de validação e de corroboração, através dos procedimentos de análise quantitativa." (p. 1-24), conduzindo, como resultado, ao suporte ou rejeição de conceitos qualitativos. Finalmente, é necessário definir se os atributos fazem parte do espaço absoluto ou do espaço relativo e, a partir daí, se suas representações adotarão modelo de geo-campo ou geo-objeto.

Um sistema de informação é criado a partir da abstração de conceitos e entidades do mundo real. Além das classes e atributos do banco, existem relações que se

estabelecem entre as classes que muitas vezes estão presentes apenas para dar funcionamento técnico ao BDG. É o caso de classes que existem somente para criar instâncias do banco, as quais não têm relação com objetos ou fenômenos geográficos para que existam como classes, tão somente estabelecem um vínculo para com classes elencadas a partir de critérios espaciais. Por outro lado, existem relações que obedecem a fatores reais a serem representados, algo que fica expresso nas relações topológicas, para citar um exemplo. Tais relações se estabelecem a partir de relacionamentos existentes em objetos e fenômenos do mundo real, constituindo, no caso do OMT-G, uma peculiaridade adequada para este propósito.

A respeito do modelo OMT-G, Davis Jr. (2000) o define da seguinte forma:

"O modelo OMT-G parte das primitivas definidas para o diagrama de classes da *Universal Modeling Language* (UML) (RATI, 1997), introduzindo primitivas geográficas com o objetivo de aumentar a capacidade de representação semântica daquele modelo, reduzindo assim a distância entre o modelo mental do espaço a ser modelado e o modelo de representação usual. Portanto, o modelo OMT-G provê primitivas para modelar a geometria e a topologia dos dados geográficos, oferecendo suporte a estruturas topológicas "todo-parte", estruturas de rede, múltiplas representações de objetos e relacionamentos espaciais." (p. 15)

Assim sendo, constitui um dos modelos possíveis para modelagem abstrata e, até mesmo, de implementação para BDG.

2.3.3 Métodos de análise espacial

Para a etapa analítica do presente trabalho, foi consultado um amplo leque de métodos de análise espacial, como se pode ler em Ferreira (2014) e Fotheringham (2000). Após uma avaliação exploratória dos dados obtidos, alguns métodos específicos foram escolhidos, como a estimativa de densidade kernel, o diagrama de Voronoi e o índice de Moran. Os métodos empregados na pesquisa serão abordados adiante.

2.3.3.1 Estimativa de densidade Kernel

Uma maneira de usar registros de trilhas fornecidas por usuários ou obtidas por aparelhos de GPS é observar quais percursos e lugares recebem mais visitas. A análise exploratória desse tipo de dado envolve métodos de estimativa de

densidade, como a densidade Kernel (KDE, do inglês *Kernel Density Estimation*). Aplicada a dados vetoriais, a KDE está consolidada no campo do geoprocessamento, sendo útil quando se procura entender padrões espaciais embutidos em dados vetoriais, particularmente, dos tipos de ponto e linha.

Os padrões de pontos são uma maneira simplificada de representar dados espaciais, já que consiste na plotagem de pontos em uma região de estudo e que indicam a ocorrência de eventos de interesse (Bailey & Gatrell, 1995). No caso de aparelhos de GPS, o registro dos trajetos realizados ocorre a partir do armazenamento de pontos com coordenadas, os quais servem de base para o traçado dos segmentos.

A KDE (*Kernel Density Estimation*) é um método não-paramétrico para análise de padrões de pontos (Silverman, 1986). Quando se trata de um efeito de primeira ordem, busca-se uma estimativa da intensidade de pontos em uma determinada unidade de área (Cressie, 1993). Além disso, pode-se buscar um efeito de segunda ordem, que deseja medir a dependência espacial dos eventos (Stoyan *et al.*, 1995).

A KDE tem como preceito a ideia de que a densidade de dados em um ponto é influenciada por outros dados próximos. Geralmente, a função kernel utiliza uma função gaussiana para suavizar os dados (Scott, 1992), a partir de uma largura de banda (bandwidth) que suaviza a estimativa. Maiores valores de largura de banda produzem curvas suaves, ao passo que valores pequenos capturam mais detalhes (Silverman, 1986).

A fórmula básica do KDE para um conjunto de dados $x_1, x_2, \dots, x_n$ é dada por:

Equação 1: Fórmula básica da estimativa de densidade Kernel

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{n \cdot h} \cdot \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right),$$

onde:

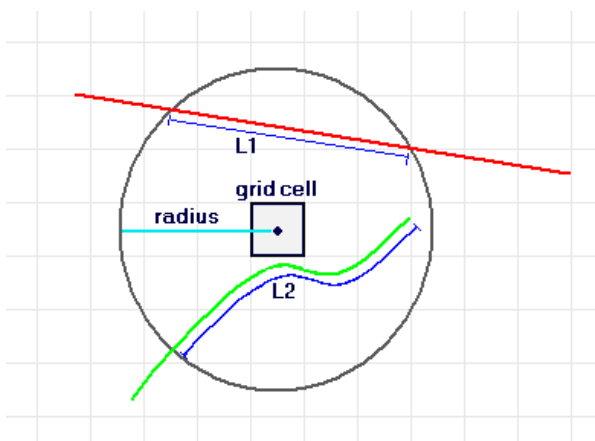
- $\hat{f}(x)$ é a estimativa de densidade em x ;
- n é o número de pontos de dados;
- h é a largura da banda;

- K é a função kernel.

O cálculo da densidade de linhas apresenta um princípio similar à KDE, embora seja calculado a partir das peculiaridades de outro tipo de geometria. Conforme a documentação do *software* QGIS, a densidade de linha:

"Calcula, para cada célula *raster* [o arquivo de saída], a medida de densidade de características lineares dentro de uma vizinhança circular. Esta medida é obtida somando todos os segmentos de linha que cruzam a vizinhança circular e dividindo esta soma pela área de tal vizinhança. Um fator de ponderação pode ser aplicado aos segmentos de linha." (QGIS, s/d, *online*)¹.

Figura 4: O cálculo da densidade de linha



Fonte: ESRI (s/d, *online*)

Como se pode ver na figura (4) acima, é estabelecido, de modo similar à densidade *kernel* para dados pontuais, um raio de busca que divide a soma dos segmentos de linha que o cruzam. O procedimento é sistemático, isto é, para todas as linhas englobadas na análise. A formulação está expressa na Equação 2.

Equação 2: Fórmula da densidade de linha

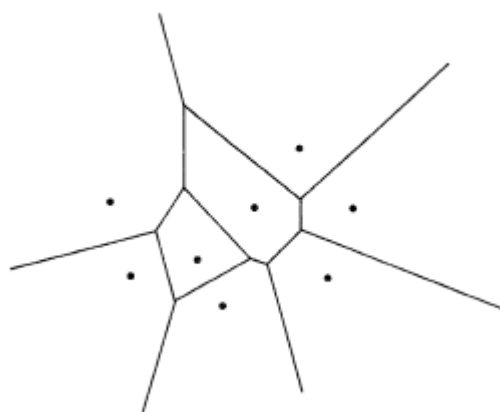
$$\text{Densidade de linha} = \frac{L1 + L2 \dots + Ln}{\text{Raio de busca}}$$

¹ https://docs.qgis.org/3.34/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/interpolation.html#line-density

2.3.3.2 Polígonos de Voronoi

Os polígonos de Voronoi são uma estrutura de dados amplamente utilizada em geometria computacional, cuja história remonta à metade do século XIX (Aurenhammer, 1991). Caracteriza-se por, dado um número de pontos situados num plano, um diagrama o divide pela regra do vizinho mais próximo, de modo que cada ponto seja associado à região do plano mais próxima a ele (Aurenhammer, 1991), conforme se pode observar na figura (5) abaixo. A técnica apresenta diversas aplicações no campo da geometria computacional, de tal sorte que, no campo da Geografia, foi adotado a princípio pelo climatologista Thiessen, em 1911, para melhorar a estimativa de médias de precipitação em grandes áreas (Aurenhammer, 1991).

Figura 5: Exemplo da geração de polígonos de Voronoi a partir de pontos



Fonte: Aurenhammer (1991).

Em SIGs, os polígonos de Voronoi podem ser aplicados, conforme Longley *et al.* (2015) para agilizar algumas operações geométricas, como a busca pelo vizinho mais próximo.

2.3.3.3 Índice de Moran

O Índice de Moran é utilizado na análise de proximidade ou vizinhança de *pixels* de uma imagem ou mapa (Anselin, 1995). O mundo real é visto geograficamente como superfície contínua, de modo que na coleta pontual de dados, estes estão contidos nessa superfície (Tobler, 1970). A transformação de dados em superfícies contínuas

serve para entender a distribuição de dados espaciais e sua representação do mundo real (Burrough e McDonnell, 1998). Para que os dados representados tenham correspondência satisfatória, é necessário medir a autocorrelação espacial do conjunto de dados, isto é, a medida da semelhança entre dados de uma área, de modo que seja possível gerar superfícies contínuas, sem a presença de descontinuidades entre dados (Getis, 2008). Dessa forma, o índice de Moran determina o grau de ajuste necessário para modelar um fenômeno (Anselin, 1995).

Ele é dado pela seguinte equação (3):

Equação 3: Índice de Moran

$$I = \frac{N \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

onde N é o número de observações (pontos ou polígonos); $\bar{x}$ é a média da variável; x_i é o valor da variável em uma localização específica; x_j o valor da variável em outra localização e; w_{ij} o peso indexador da localização de i com relação a j (sua vizinhança).

A autocorrelação espacial é, simplificada, a expressão computacional do conceito de dependência espacial (Anselin, 1988). A medida da correlação é realizada com a mesma variável aleatória, porém em locais distintos do espaço (Cliff e Ord, 1981). Os coeficientes de autocorrelação apresentam o padrão de serem expressos pela razão de uma determinada medida de autocovariância - sendo que diferentes medidas darão origem a diferentes coeficientes - pela medida da variação total dos dados (Getis, 2008). As medidas de autocovariância, por sua vez, geralmente são acompanhadas de uma matriz de ponderação espacial, que expressará a relação do local e a média dos seus vizinhos (Anselin, 1995). De forma similar, tem-se o índice de Moran para dados padronizados, dado pela seguinte expressão (equação 4):

Equação 4: Índice de Moran para matriz de pesos espaciais e dados amostrais padronizados
(Anselin, 1995)

$$I = \frac{\sum_i z_i \sum_j z_j w_{ij}}{\sum_i z_i^2}$$

Sendo que um dos componentes da fórmula acima é, por si, o índice de Moran local, *Local Spatial Autocorrelation (LISA)* proposto por Anselin (1995) (Equação 5).

Equação 5: Índice local de autocorrelação espacial (LISA).

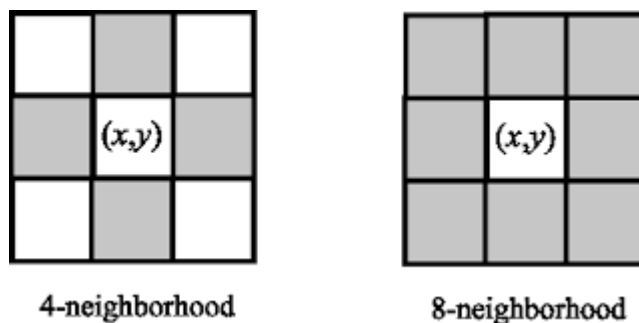
$$I_i = c. z_i \sum_j w_{ij} (z_j),$$

onde c corresponde ao denominador da Equação 4.

Nota-se, portanto, que o índice expresso na Equação 4 é, basicamente, o somatório dos índices locais de associação espacial (Equação 5) divididos por $\sum_i z_i^2$. Os valores do índice de Moran se situam entre -1 e +1, de modo que os valores positivos indicam semelhança entre dados espaciais e boa autocorrelação, ao passo que valores próximos de -1 indicam autocorrelação inversa. Por sua vez, valores próximos de 0 revelam a presença de descontinuidades.

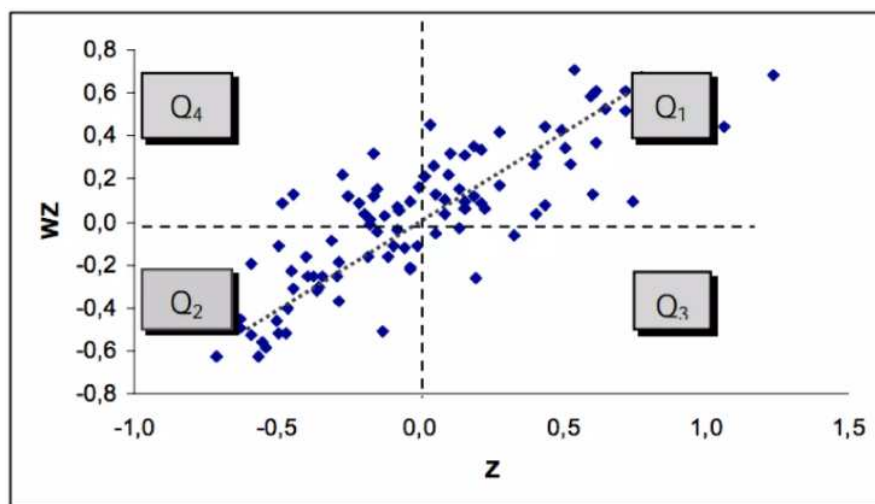
A conectividade entre os valores de uma matriz consiste na distribuição de dados espaciais em uma matriz binária quadrada, na qual 0 e 1 representam a conectividade binária, isto é, na existência de uma linha unindo os dados, retorna-se valor 1 e, caso contrário, 0 (O'Sullivan & Unwin, 2010). Deve-se considerar a possibilidade de definir qual tipo de vizinhança usar para avaliar a conectividade. Dois padrões de destaque em análises espaciais são o padrão torre, referente à torre do xadrez, que só se movimenta para os lados, e o padrão dama, que, também se referindo ao xadrez, descreve um valor que se relaciona com os vizinhos ao lado e nas diagonais (Anselin, 1988), conforme se pode observar na Figura 6. A vizinhança pode abarcar diversas outras definições, como distância, fronteira, buffer, etc.; em suma, a utilização de um ponderador, sendo um dos mais comuns o inverso da potência da distância, ou IDW, na sigla em inglês (Lu & Wong, 2008).

Figura 6: Regras de vizinhança.



Fonte: s.r.

Como mencionado anteriormente, o I de Moran varia de -1 a 1. No gráfico de dispersão se observa a distribuição dos valores de LISA em quatro regiões, nas quais se pode identificar um tipo de *cluster*, sendo que os valores altos são denominados *hotspots*, ao passo que, os valores baixos, *coldspots*. No caso da autocorrelação positiva, espera-se que os valores altos e baixos agrupem-se com vizinhos altos ou baixos como em Q1 (alto-alto) e Q2 (baixo-baixo) na figura (7) abaixo; por sua vez, na autocorrelação negativa, espera-se que os valores se localizem entre Q3 (alto-baixo) e Q4 (baixo-alto), isto é, valores altos com vizinhos baixos e valores baixos com vizinhos altos.

Figura 7: Gráfico de dispersão do I de Moran para amostras padronizadas.

Fonte: Câmara (2004).

A ideia de dependência espacial quebra o princípio da independência de observações aplicada na amostragem estatística (Anselin, 1988). Portanto, não apresenta distribuição de probabilidade *a priori*, o que impossibilita a aplicação de

um teste de hipótese (Cliff e Ord, 1981). A forma de contornar isso é a partir de um princípio de distribuição de modelos não-estocásticos, mais especificamente, bayesianos, que trabalham com distribuição de probabilidades *a posteriori* (Gelman *et al.*, 2013). Para gerar esse tipo de distribuição de probabilidade, aplicam-se métodos como *bootstrap*, no qual se aplicam permutações sucessivas até que se alcancem parâmetros de uma distribuição de um modelo estocástico, como média, desvio-padrão, etc. (Efron & Tibshirani, 1993). Dessa forma, através de um grande número de simulações, é obtida uma distribuição normal para qual se aplica um teste de hipótese.

O *software* GeoDa, usualmente empregado para o cálculo dos índices abordados, utiliza o teste de pseudo-significância, no qual diferentes permutações dos valores de atributos associados aos locais são gerados, produzindo novos arranjos espaciais com seus respectivos valores redistribuídos (Anselin *et al.*, 2006). Dado que apenas um arranjo constitui a observação, é possível distribuir empiricamente o I de Moran, obter a significância estatística e testar a hipótese (Anselin, 1995).

2.4 Informação Geográfica Voluntária e a avaliação do uso público em áreas protegidas

Conforme apontado na introdução, dados VGI podem ser importantes fontes para estudos do turismo na natureza (Astaburuaga *et al.*, 2022). No contexto de estudos sobre o ecoturismo, o uso de dados de VGI pode refletir a popularidade de certas trilhas, mas não o número total de usuários, de acordo com as evidências de Norman e Pickering (2017). Chai-Allah *et al.* (2023 *apud* Havinga *et al.*, 2020; Wood *et al.*, 2013) apontam que os registros de práticas potencialmente ecoturísticas obtidos em plataformas sociais podem ser mais facilmente convertidos em dados espacialmente explícitos, reduzindo o viés do tamanho amostral presente nos métodos tradicionais de coleta de dados para o estudo do uso público em áreas protegidas, como questionários, monitoramento dos usuários, etc.

Da Mota e Pickering (2020) ressaltam que é necessário que se façam mais estudos do turismo baseado na natureza a partir das mídias sociais e em países além dos EUA e do continente europeu. Limitações são esperadas desse tipo de fonte de dados, como oscilações do número de usuários e publicações. No entanto, como

são plataformas cada vez mais usadas no dia-a-dia, e por um público mais diverso, podem servir para pesquisas de amplo espectro, em diferentes áreas do conhecimento.

Entretanto, Norman e Pickering (2017) apontam para os problemas associados ao uso do mapeamento colaborativo para o estudo do uso público em áreas protegidas, como os vieses temporais e espaciais do uso de unidades de conservação, como a presença de infraestrutura, a proximidade a centros urbanos (*apud* Clark & Stankey, 1979; De Vries & Goosen, 2002; Driver & Brown, 1978; Higginbottom *et al.*, 2010; Newsome *et al.*, 2012), bem como estudos que comparam grupos de usuários em diferentes parques ou tipos de dados de várias plataformas para a mesma atividade (*apud* Santos *et al.*, 2016; Campelo & Mendes, 2016). No estudo, os autores compararam os tipos e a qualidade da VGI em três plataformas e em três tipos de parque, um urbano, um periurbano e o outro mais afastado das cidades. Norman e Pickering (2017) apontam que o *Wikiloc*¹ se apresentou como o site com mais registros para o parque mais remoto, com usuários mais interessados em aspectos naturais do que somente práticas esportivas, bem como experiências que não são possíveis de serem obtidas em parques urbanos.

Também Norman e Pickering (2017) dizem que sites como o *Wikiloc* contribuem para o uso *off-trail*, já que os usuários registram trilhas informais. Isso contribui para o pisoteamento da vegetação, havendo evidências para impactos ambientais com a ramificação de trilhas (Cole & Monz, 2002; Monz *et al.*, 2010b). Norman e Pickering (2017) também dizem que o mapeamento colaborativo pode ser utilizado por planejadores e administradores para complementar os métodos já existentes de monitoramento e controle de visitantes, sendo uma forma de obtenção de dados fácil e com baixo custo, que exige habilidades de mapeamento já usuais entre esses trabalhadores.

Citando Jäger *et al.* (2020) e Törn *et al.* (2009), Chai-Allah *et al.* (2023) apontam para a importância dos registros dos usuários para o entendimento da distribuição

¹<https://www.wikiloc.com>

espacial e temporal em áreas de vida silvestre e ecossistemas sensíveis, uma vez que servem como ferramenta para a regulamentação do acesso a pontos sensíveis.

No que diz respeito ao *Wikiloc* (Figura 8), trata-se de uma rede colaborativa na qual os membros compartilham e acessam informações sobre trilhas e roteiros do mundo todo, com dados espaciais que incluem trajetos com geometria de linha dos itinerários, que podem, além de pensados para quem os executa a pé, incluir atividades que utilizam bicicletas, canoas e drones (Silva, 2019). Ainda segundo a matéria, o *Wikiloc* conta com mais de 4 milhões de usuários, 11 milhões de trilhas cadastradas e, aproximadamente, 19 milhões de fotos.

Figura 8: *Print screen* de uma tela do site *Wikiloc*



Fonte: *Wikiloc* (s.d., online).

Trata-se de um caso de VGI, haja vista que se constitui numa plataforma de produção, gerenciamento e disponibilização de dados espaciais, aos quais se agregam informações adicionais como textos e fotografias transmitidas pelos próprios usuários. Considerando a necessidade de obtenção de dados para preencher o modelo, pode-se ter em tela o uso dos dados disponibilizados pelo *Wikiloc*, haja vista que as trilhas são muito diversas em extensão e trajeto utilizado, fazendo com que a participação de dados provenientes dos usuários constitua não somente uma possibilidade, mas, pode-se dizer, uma necessidade para se coletar e processar dados ecoturísticos.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Parque Nacional da Serra do Gandarela (figura 8) é um PARNA que foi criado em 2014, por meio de decreto presidencial (Brasil, 2014). Está localizado no Estado de Minas Gerais, na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), a aproximadamente (60) sessenta quilômetros da capital mineira. A criação do parque foi marcada por polêmicas, por ceder a requisitos e interesses da mineração em detrimento das demandas dos moradores do entorno do parque (Ordúz-Rojas *et al*, 2018). A área total do parque é de 31.270 hectares, a qual abrange os municípios de Caeté, Santa Bárbara, Nova Lima, Raposos, Ouro Preto, Itabirito e Rio Acima (Santos, 2021). Está localizado no Quadrilátero Ferrífero e em parte da porção Sul da Serra do Espinhaço, sendo considerado uma importante região para a conservação e preservação da biodiversidade. É composto por rios, cachoeiras, córregos, serras e diversidade faunística, florística e florestal, atrativos com potencial ecoturístico notável.

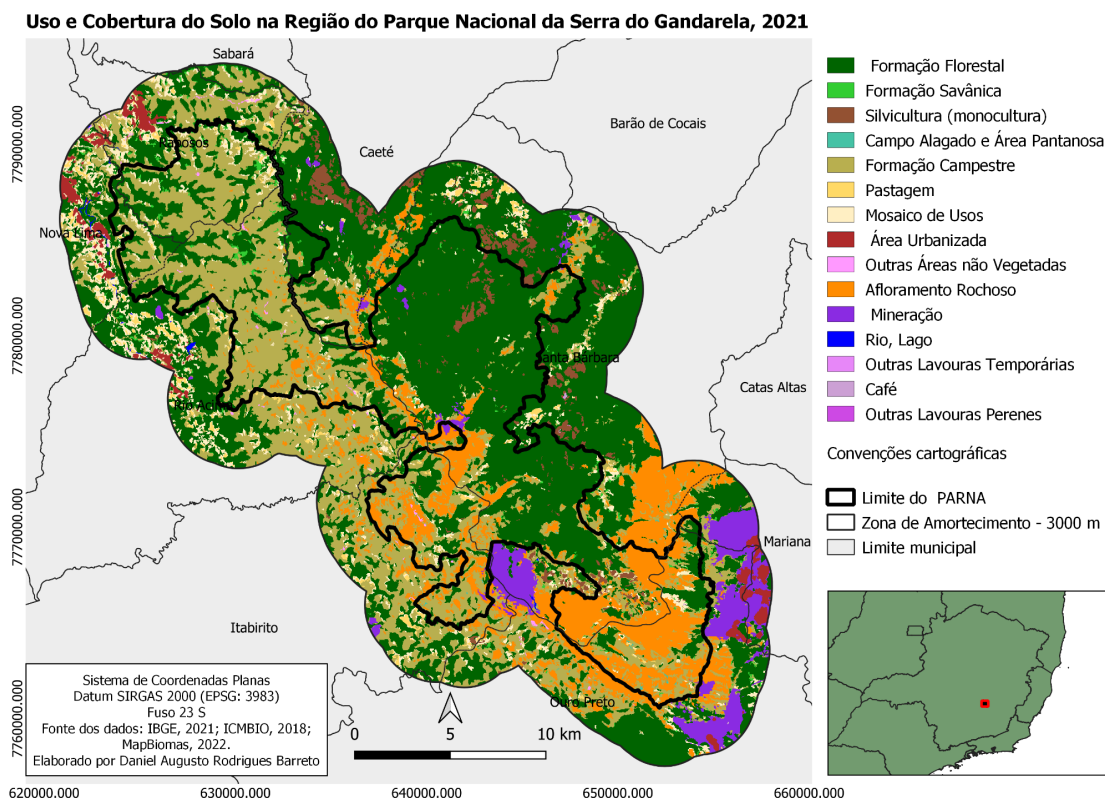
O parque é considerado novo, pela data de sua criação, porém a diversidade ambiental presente na região pode ser visitada e usufruída de maneira sustentável pelo homem, apesar de ainda não haver infraestrutura suficiente para acolher a crescente demanda ecoturística, o que ainda está em fase de estudo (Baggio, 2021).

Além da diversidade biológica, o Parque Nacional da Serra do Gandarela também possui diversidade mineral com seus campos rupestres ferruginosos, quartzíticos e com suas águas que abastecem Belo Horizonte e cidades vizinhas (ICMBio, 2022). Tal diversidade tem chamado a atenção de empresas de exploração de atividade minerária, dado o potencial para a exploração mineral presente na canga, geossistema ferruginoso que ocorre principalmente na Serra do Gandarela (Carmo & Jacobi, 2013).

Apesar de sua localização em um entorno altamente antropizado, o parque teve sua criação justificada pelas notáveis amostras de patrimônio biológico, geológico, espeleológico e hidrológico vinculados às formações ferríferas de canga, típicas do Quadrilátero Ferrífero, bem como da vegetação de campos rupestres e floresta atlântica semidecidual, fatores que destacam o conjunto cênico de suas paisagens (Brasil, 2014).

Observando-se as classes de uso do solo no entorno (Figura 9), notam-se áreas de mata atlântica e cerrado desprotegidas, bem como a própria localização do parque se dá próxima a áreas urbanas e de mineração. Nos anexos F a N, encontram-se tabelas com, para cada município abrangido pelo parque, a área de cada classe de uso e cobertura da Terra por município, os percentuais de cada classe com relação à área do município, à área total da classe nos demais municípios e com relação à área de estudo. O parque se localiza numa área prioritária para preservação da biodiversidade, destacando-se avifauna, ictiofauna, herpetofauna e invertebrados (Scolforo *et al.*, 2008). Ali estão muitas espécies endêmicas que se encontram extintas na maior parte do estado.

Figura 9: Mapa de Uso e Cobertura do Solo na Região do Parque Nacional da Serra do Gandarela em 2021



Fonte: elaborado pelo autor.

O relevo da Serra do Gandarela apresenta notável geodiversidade, com grande ocorrência de cavidades, além de se dispor em patamares com litologias de diferentes resistências ao intemperismo, favorecendo a ocorrência de quedas d'água (Carmo & Jacobi, 2013). Isso é resultado de uma formação geomorfológica com

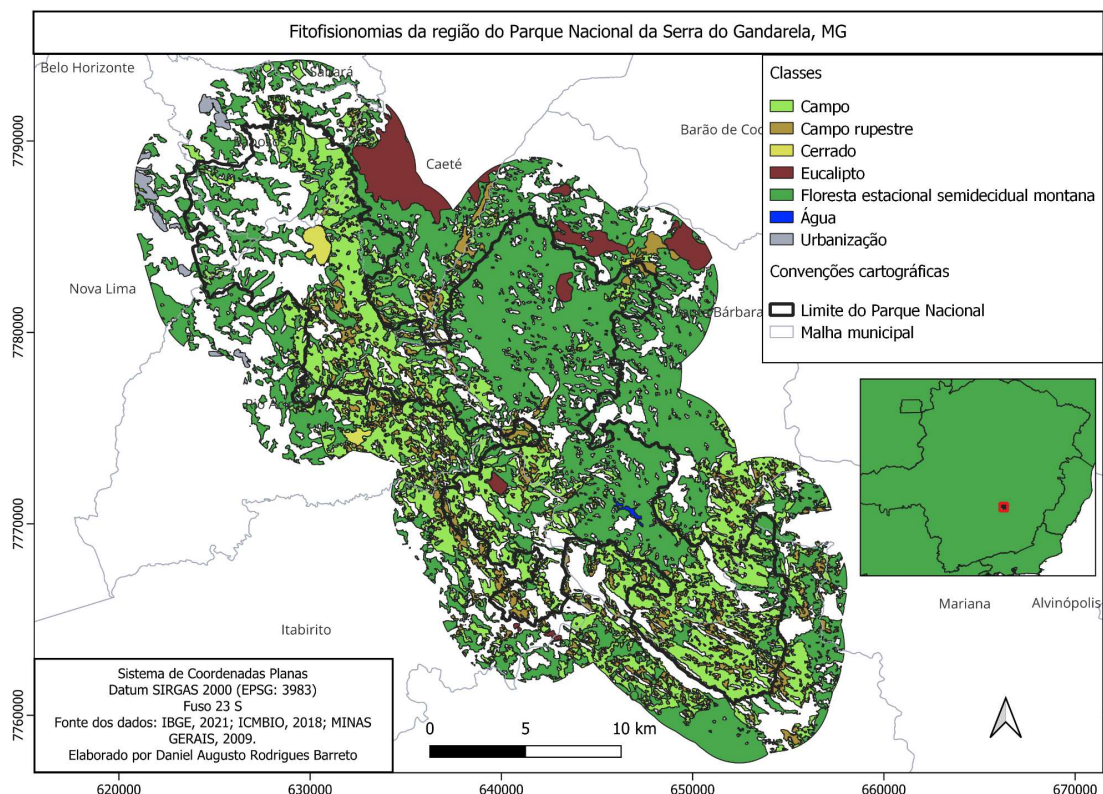
dobramentos em sinclinais e anticlinais, que propiciam inversões de relevo (Marent *et al.*, 2011).

De modo geral, a área do parque apresenta uma forma estreita e pressionada pelo entorno. A obtenção de informações precisas da região do Parque Nacional da Serra do Gandarela é de suma importância para o planejamento do uso da terra nessa área sensível para conservação de biodiversidade, com presença de espécies endêmicas e um mosaico que conta com vegetação ecotonal, da transição Mata Atlântica-Cerrado (Drummond *et al.*, 2005). Além disso, deve-se destacar a ocorrência da formação sinclinal Gandarela do relevo e de feições geomorfológicas na região da Serra do Caraça, porções estas com notável geodiversidade e inseridas no Quadrilátero Ferrífero (Camargos, 2019).

Do ponto de vista socioeconômico, a região do Quadrilátero Ferrífero é uma das principais fronteiras da produção de ferro no país, alcançando 90% quando somada à exploração que ocorre na Serra dos Carajás, no estado do Pará (Piló *et al.*, 2015). As áreas de canga correspondem a sedimentos cenozoicos de hematita e itabirito cimentados por limonita, cobertura de interesse dos empreendimentos minerários em função do potencial de extração do minério de ferro (Santos *et al.*, 2021).

É relevante observar as fitofisionomias mapeadas para o estado de Minas Gerais que correspondem à área do parque, conforme o Inventário Florestal (Minas Gerais, 2009), as quais podem ser vistas no mapa (Figura 10):

Figura 10: Fitofisionomias da região do Parque Nacional da Serra do Gandarela, de acordo com o Inventário Florestal de 2009



Fonte: elaborado pelo autor.

Apesar de apresentar vazios, a base geoespacial observada é relevante por se tratar de um mapeamento oficial e disponibilizado publicamente pela Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Minas Gerais (IDE-SISEMA), na escala 1:60.000. Nela, observa-se que ocorrem feições do bioma Cerrado como campo, campo rupestre e cerrado *stricto sensu* na região, além da feição floresta estacional semidecidual montana, correspondente ao bioma Mata Atlântica (Minas Gerais, 2009).

O gradiente altimétrico com mudanças acentuadas da região propicia a ocorrência de mirantes e cachoeiras, atrativos turísticos notáveis; no entanto, também constituem vulnerabilidades ambientais, haja vista que atividades como *motocross* ou acessos às cachoeiras resultam em impactos como erosão (Santos *et al.*, 2021). Um potencial notável da região é, justamente, o ecoturismo, o qual é praticado há mais de 40 anos, ainda que de forma desorganizada (Baggio, 2021).

As estatísticas de visitas ao parque, disponibilizadas no intervalo de 2018 a 2022, dão conta de que, anualmente, ele chega a receber dezenas de milhares de visitantes, conforme se pode observar no Quadro 2, abaixo:

Quadro 2: Estatísticas de visitantes no Parque Nacional da Serra do Gandarela

Unidade de Conservação	2018	2019	2020	2021	2022
PARNA DA SERRA DO GANDARELA	10.000	1.847	9.059	62.400	45.600
Total	10.000	1.847	9.059	62.400	45.600

Fonte: Brasil (2024)

Pelo fato de o parque abranger diversos municípios, nem todos acabam por apresentar a mesma intensidade de uso. Conforme Silva *et al.* (2022), o uso público do parque conta com as categorias dispostas no quadro (3) a seguir, as quais foram baseadas no trabalho elaborado pelo Grupo de Trabalho de Uso Público do Conselho Consultivo do parque entre 2018 e 2022.

Quadro 3: Síntese do Uso Público do PNSGa

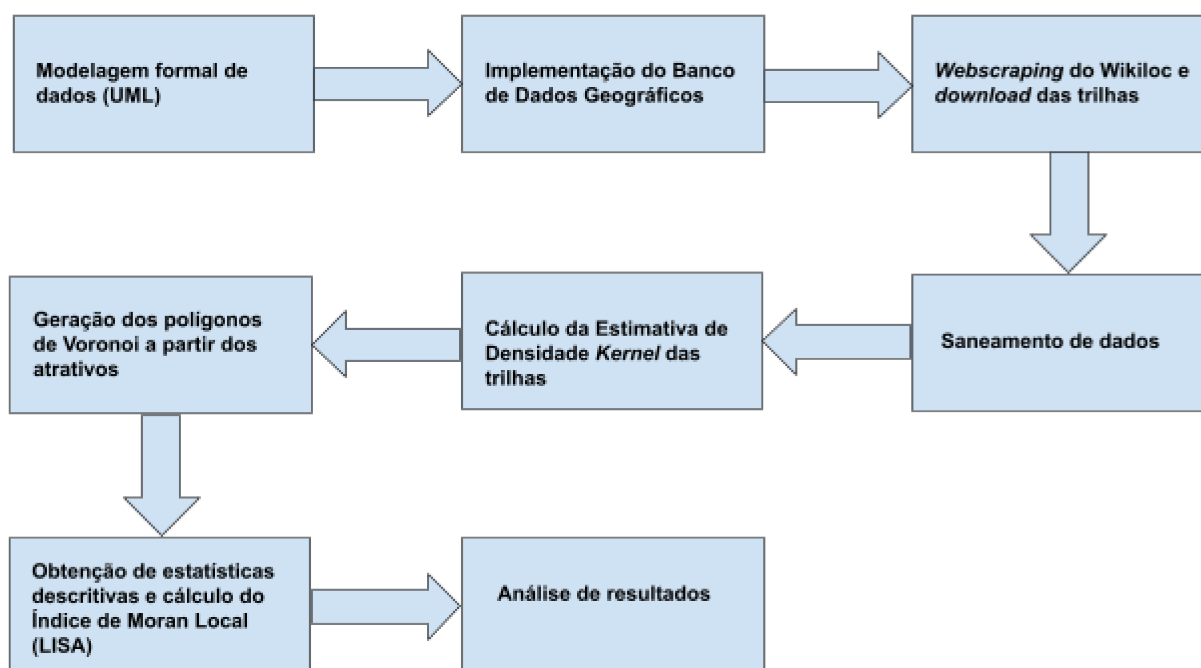
Tipo de uso público	Localização	Características
Intenso	Municípios de Caeté, Nova Lima, Raposos e Rio Acima	Região mais visitada do PNSGa, com uso histórico das trilhas e dos atrativos. Destaque para a cachoeiras das 27 Voltas (Nova Lima), Santo Antônio (Caeté e Raposos), Índio e Viana (Rio Acima) e o Poço Azul (Raposos). Estes atrativos apresentam, em diferentes graus, problemas de sobrecarga de visitação.
	Vale do Catana (Município de Itabirito)	Localizada nas proximidades da Serra de Ouro Fino é um caso no qual os proprietários fazem o controle de acesso das cachoeiras (que estão localizadas no interior da UC) mediante cobrança, conciliando também com um restaurante e chalês na portaria da propriedade, controle este anterior ao estabelecimento do PNSGa.
Moderado	Serras de Ouro Fino e Jaguará (Município de Itabirito)	Apresentam enorme potencial de desenvolvimento e estruturação, pois já conta com a implementação de uma rota turística, a “Rota Jaguará” ⁵ , no entorno do PNSGa. Nas proximidades dessa região há atores com interesse no desenvolvimento turístico da região.
	Espingarda Queimada e Capivari (Município de Santa Bárbara)	A Cachoeira de Capivari, a mais alta do PNSGa possui menor fluxo de visitantes e possui acesso precário. Em Vigário da Vara (povoado de Santa Bárbara) há um circuito de trilhas usadas principalmente por ciclistas e motociclistas estabelecido e operado por guias de turismo locais há pelo menos 20 anos.
Incipiente	Serra de Capanema e os Campos Altos (Municípios de Santa Bárbara e Ouro Preto)	Um dos setores ambientalmente sensíveis do Parque, local de grande endemismo, e com menor histórico de visitação. Vem apresentando considerável aumento no fluxo de visitantes.
	Sinclinal Gandarela (Município de Santa Bárbara)	Maior fragmento de Mata Atlântica do QF, possui menor fluxo de visitantes e menor número de trilhas utilizadas. O acesso é difícil, não há cachoeiras no local e as trilhas estão mais relacionadas aos mirantes e à Lagoa do Metro.

Fonte: Silva *et al.* (2022).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A dissertação foi desenvolvida seguindo uma série de etapas, dispostas, ordenadamente, na figura (11):

Figura 11: Fluxograma da dissertação



Fonte: elaborado pelo autor.

Na etapa de modelagem formal de dados, feita a partir da linguagem *Unified Modeling Language* (UML), os elementos da realidade foram sintetizados num diagrama de classes e representados a partir de entidades e seus relacionamentos. O modelo formal possibilitou a implementação do banco a partir de um *software* gerenciador de banco de dados. Para preenchê-lo, foram utilizados dados textuais e vetoriais obtidos a partir do *site* Wikiloc. Após um devido saneamento dos vetores das trilhas, elas foram utilizadas para calcular a KDE das trilhas, segmentadas por diferentes tipos. Posteriormente, foram gerados polígonos de Voronoi a partir dos atrativos de cachoeiras e mirantes. Calcularam-se estatísticas descritivas zonais (média e desvio-padrão) das superfícies de densidade geradas pelo KDE, para cada polígono de Voronoi. Com os valores obtidos, o LISA foi calculado nos polígonos, investigando a autocorrelação espacial das médias das densidades. Por fim, os resultados foram analisados. Cada procedimento será detalhado nos subcapítulos seguintes.

4.1 Modelo de banco de dados

Todas as etapas na elaboração de um BDG são cruciais. Assim sendo, a primeira parte do presente trabalho concentrou-se em discussões que tocam, principalmente, a modelagem ontológica de dados, pois ela forneceu o suporte necessário para avançar às etapas subsequentes, sob risco de se criar um banco com classes mal definidas, atributos que se inserem aleatoriamente e que dificilmente seriam preenchidos em suas instâncias e outras dificuldades nas etapas finais de implementação. Num primeiro momento, foi necessário realizar um levantamento bibliográfico para conferir embasamento científico e teórico à pesquisa. Na sequência, o diagrama de classes foi estabelecido, sendo o fundamento para a implementação do banco de dados e a aplicação dos métodos analíticos detalhados a seguir.

4.1.1 Modelar abstratamente o ecoturismo na região do Parque Nacional da Serra do Gandarela por meio de diagramas de classe

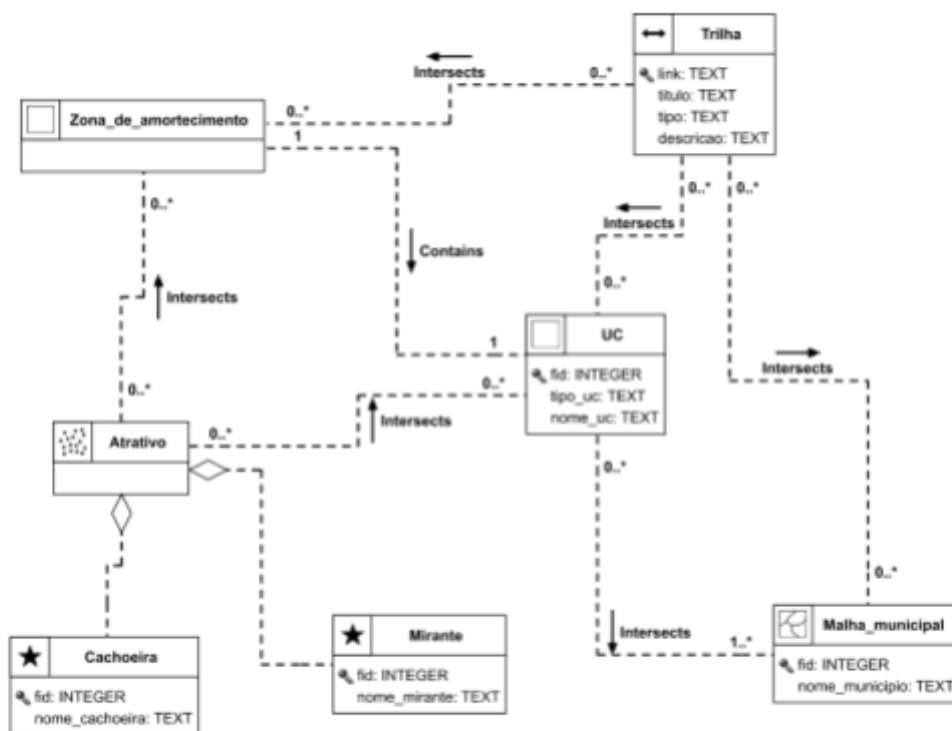
O modelo formal de dados foi expresso a partir de diagramas de classe, os quais foram construídos a partir de UML, um tipo de linguagem que possibilita a construção de modelos orientados a objetos e que demonstra, em tabelas, as classes, seus atributos e relações. Para o caso em questão, utilizou-se o modelo OMT-G, que agrega tipos de dados geográficos ao modelo UML, na plataforma denominada *OMT-G Designer*, presente no site <http://aqui.io/omtg/>.

A tendência de um BDG é que ele gradualmente se torne, partindo de um ponto teórico e conceitual, mais aproximado com a maneira como os computadores funcionam, de forma lógica e com linguagens menos inteligíveis à linguagem humana, atendendo às necessidades técnicas de se realizar um modelo de implementação. Com este intuito, o modelo formal de dados acabou por abstrair os aspectos mais essenciais da caracterização sobre a prática turística, de modo a servir de intermédio para a devida migração ao meio computacional.

Tendo-se em vista a discussão ontológica acerca do ecoturismo, procede-se, então, para a criação de um modelo abstrato, expresso visualmente no diagrama de classes. Para que ele fosse elaborado, foi necessário, como dito no subcapítulo

acerca do BDG, estabelecer classes e atributos e seus respectivos relacionamentos (Figura 12). O diagrama, com melhor visualização, encontra-se anexo (A).

Figura 12: Diagrama do Banco de Dados Geográfico da pesquisa

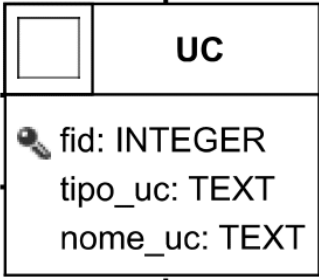
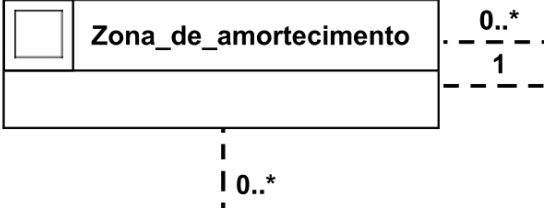
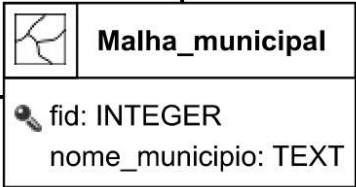
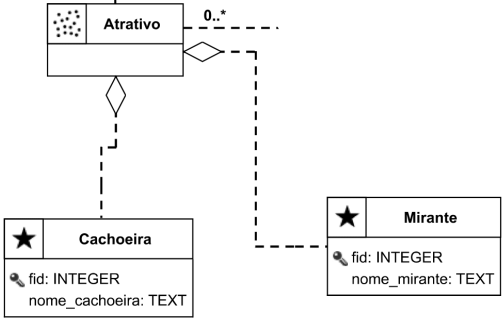


Fonte: elaborado pelo autor.

No quadro (4) abaixo, as classes e seus respectivos relacionamentos são destrinchadas.

Quadro 4: Descrição detalhada do diagrama de classes

	A entidade trilha contém o armazenamento de informações textuais obtidas em cada link de resultado no Wikiloc. Os links são a chave-primária da classe pelo fato de serem o identificador que associa cada classe com sua respectiva geometria (formato .gpx). Os atributos título, tipo (tipo de trilha) e descrição são dados textuais obtidos no site. Esta entidade apresenta uma geometria do tipo linha bidirecional, que corresponde à sua estrutura de dado vetorial linear.
--	---

	A entidade poligonal UC corresponde ao limite do Parque Nacional da Serra do Gandarela. A camada UC faz interseção com as entidades de malha municipal, que corresponde aos municípios abrangidos pelo parque e com a zona de amortecimento.
	Ela está contida pela poligonal da Zona de Amortecimento, que corresponde à borda de 3 km ao redor do parque. Além de servir para expandir a região do parque, a borda segue as normativas estaduais para os casos em que as unidades de conservação não contam com um plano de manejo concluído (Minas Gerais, 2017; Alves, 2022).
	A entidade consiste na subdivisão planar com os limites dos municípios na área de estudo, que servem para particularização das densidades e localização dos atrativos.
	As entidades pontuais de cachoeira e mirante constituem atrativos, os quais serão empregados, na pesquisa, para particularização das densidades.

Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.2 Implementação do banco de dados

A implementação do banco de dados se deu a partir do *software* de gerenciamento de banco de dados *PostgreSQL*, dotando-se da extensão *PostGIS*. Esta extensão permite a inclusão de primitivas de dados geoespaciais. Além dela, foi incluída a extensão *AST-GIS*, que agrega, para além da extensão supracitada, primitivas necessárias para o reconhecimento de tipos de entidade e relacionamentos inerentes ao modelo OMT-G.

O *software* escolhido como cliente do BDG foi o QGIS, na versão 3.28.6 (*Firenze*), uma versão estável e de longo prazo. Os procedimentos para obtenção dos dados que preenchem o banco foram detalhados nos subcapítulos seguintes.

4.2 *Web scraping*

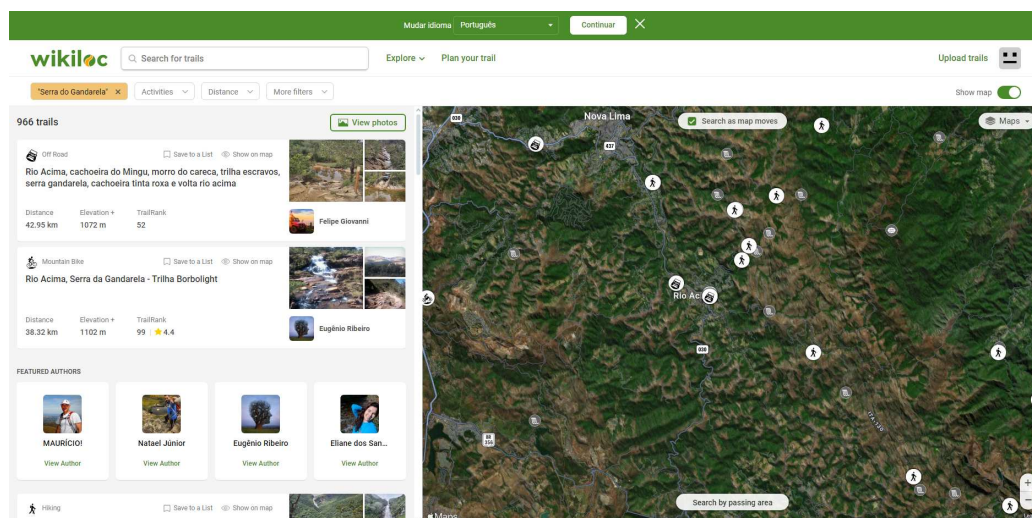
4.2.1 Algoritmo para obtenção de dados

A obtenção de dados para o presente trabalho se deu a partir do site Wikiloc, já abordado. Como se trata de um grande volume de dados, foi necessário realizar um *web scraping*, a extração estruturada de dados da internet (Mitchell, 2015). Para isso, foi desenvolvido um algoritmo na linguagem R e no *software RStudio* para realizar a “raspagem” de dados. O pacote utilizado foi o *RSelenium*, o qual

Fornece um conjunto de ligações R para o 'Selenium 2.0 WebDriver' [...] usando o 'JsonWireProtocol' [...]. O 'Selenium 2.0 WebDriver' permite conduzir um navegador da web nativamente como um usuário faria localmente ou em uma máquina remota usando o servidor Selenium, marcando um salto em termos de automação de navegador da web. O Selenium automatiza navegadores da web (comumente chamados de navegadores). Usando o *RSelenium*, você pode automatizar navegadores localmente ou remotamente. (R Core Team, s.d., *online*)

No site, pode-se aplicar uma série de métodos para busca de trilhas. É possível, usando um *WebGIS*, mover para uma área de interesse, o que revela as trilhas contidas no enquadramento desejado. Além disso, é possível pesquisar textos que se encontram nas páginas das trilhas, como, por exemplo, “cachoeiras na Serra do Gandarela”, “mirante do Gandarela”, etc. Ainda, uma outra possibilidade consiste em procurar trilhas de municípios ou unidades de conservação já reconhecidas pelo site - algo que não se aplica a todas as situações. No caso em tela, foi necessário pesquisar por trilhas contendo o texto “Serra do Gandarela”, conforme se pode observar na figura (13) abaixo. O acesso aos resultados desejados foi feito a partir do Algoritmo 1. Os algoritmos não foram apresentados na sua forma original porque a técnica de *web scraping* pode acabar sobrecarregando o servidor de um *site* (Stack Overflow, 2014), o que, potencialmente, causaria transtornos ao Wikiloc, que já recebe muitos acessos por usuários humanos.

Figura 13: *PrintScreen* do site exibindo os resultados para trilhas que contém o texto “Serra do Gandarela”



Fonte: Wikiloc (s.d., online).

Algoritmo 1: Pseudocódigo para acessar o site e realizar o login (biblioteca RSelenium)

Início

1. Definir o navegador desejado (ex: Chrome, Firefox)
2. Abrir o navegador
3. Acessar o site Wikiloc
4. Localizar os campos de login (e-mail e senha)
 - 4.1. Inserir e-mail no campo correspondente
 - 4.2. Inserir senha no campo correspondente
 - 4.3. Pressionar a tecla "Enter" ou clicar no botão "Login"
5. Esperar até que a página de login seja carregada e a autenticação seja concluída
6. Navegar para a página de pesquisa ou resultados
7. Inserir "Serra do Gandarela" na barra de pesquisa
8. Pressionar a tecla "Enter" ou clicar no botão de pesquisa
9. Esperar os resultados carregarem
10. Verificar se os resultados contêm "Serra do Gandarela"
 - 10.1. Caso afirmativo, exibir ou salvar os resultados
 - 10.2. Caso negativo, exibir mensagem de erro ou realizar nova tentativa de pesquisa

Fim

Fonte: elaborado pelo autor.

A extração de dados textuais e interação com os elementos das páginas é feita também a partir da biblioteca RSelenium, conforme se pode observar no pseudocódigo abaixo (Algoritmo 2).

Algoritmo 2: Pseudocódigo para raspagem de dados e download de trilhas (.gpx)

```

Início
  1. Estrutura de repetição (repeat)
    1.1. Acessar a página de resultados com as trilhas
    1.2. Para cada trilha na página, realizar as seguintes ações:
      1.2.1. Extrair o título da trilha
      1.2.2. Extrair a data da trilha
      1.2.3. Extrair o "trailrank" (classificação da trilha)
      1.2.4. Extrair o tipo da trilha
      1.2.5. Extrair a descrição da trilha
      1.2.6. Extrair a URL da trilha
      1.2.7. Inserir cada dado extraído como um registro em uma
planilha no formato .csv
      1.2.8. Fazer o download do arquivo .gpx de cada trilha
    1.3. Verificar se há uma próxima página de resultados
      1.3.1. Se houver, acessar a próxima página
      1.3.2. Caso contrário, encerrar a repetição
  2. Finalizar a repetição
  3. Salvar o arquivo .csv com os registros
Fim

```

Fonte: elaborado pelo autor

4.2.2 Saneamento de dados

Após a obtenção sistemática dos dados, foi necessário desenvolver um algoritmo que integrasse as informações textuais de cada trilha com a geometria das mesmas, já que não é algo inerente aos dados do *Wikiloc*. Os arquivos do formato .gpx são, essencialmente, arquivos .xml com geometrias lineares ou pontuais. No caso em tela, as trilhas do *Wikiloc* apresentam registros lineares, o itinerário realizado pelos usuários, além de *waypoints*, isto é, pontos de interesse no decorrer do trajeto.

Também a partir do RStudio e da linguagem R, foi criado um algoritmo que associasse a cada instância da planilha a uma feição geométrica, o trajeto do usuário no formato *.gpx*. Isso foi possível graças ao link da trilha que constava em cada arquivo *.gpx*, que permitiu uma associação direta entre a URL dos registros e sua respectiva trilha. Ao final, o algoritmo (3) exportou o arquivo para o formato *geopackage* (*gpkg*), um formato livre para dados geoespaciais. Dessa forma, todos os dados de interesse do site *Wikiloc* foram devidamente obtidos e preparados para a etapa analítica do trabalho. O pseudocódigo que esclarece o fluxo de trabalho se encontra abaixo.

Algoritmo 3: Código para unir os atributos textuais à geometria de cada trilha

```

Início
  1. Extração dos links de cada arquivo .gpx a partir do site
  2. Estrutura de repetição (repeat - para cada link extraído)
    2.1. Para cada link de arquivo .gpx, associar o link à geometria
    correspondente do arquivo .gpx
    2.2. Armazenar a associação (link e geometria) em um arquivo .sf
    2.3. Verificar se alcançou o último registro
      2.3.1. Se sim, finalizar a repetição
      2.3.2. Caso contrário, continuar para o próximo link
  3. Finalizar a repetição
  4. Salvar o arquivo .sf com as associações no formato .gpkg
Fim

```

Fonte: elaborado pelo autor.

É necessário esclarecer que, para o presente trabalho, algumas simplificações foram realizadas no arquivo *gpx*. Trata-se de um formato que comporta, além das coordenadas de cada vértice de um trajeto, a elevação e *waypoints* marcados pelos usuários. Entretanto, para o escopo do presente trabalho e a modelagem concebida, os *waypoints* e elevação de cada ponto constituem atributos desnecessários.

Foi realizado o *download* sistemático e raspagem de dados de todas as trilhas que correspondiam aos resultados da busca. Por fim, foi realizado, também por meio de algoritmo (3), uma associação entre cada atributo textual das trilhas e a geometria correspondente, no formato *gpx*, que é o itinerário gravado por cada usuário. Após

essas etapas, haja vista que o site pode não exibir todos os resultados, além de que os resultados que aparecem por página são variáveis, gerou-se um arquivo no formato *Geopackage (gpkg)* com 1412 instâncias. Verificou-se que, destas, 149 correspondiam a trilhas localizadas na Europa, particularmente de um povoado homônimo ao parque, situado no norte de Portugal. A partir da ferramenta recortar, utilizando-se um arquivo vetorial correspondente ao território brasileiro, foram removidos os registros fora do Brasil. As 1263 trilhas resultantes foram dispostas em três categorias, a saber: a pé, motorizada e tração humana, conforme se pode observar na Tabela 1. 24 trilhas, de tipo não especificado, foram retiradas da análise.

Tabela 1: Quantidade de trilhas de cada tipo utilizadas na análise

Tipo de trilha	Quantidade
A pé	516
Motorizada	446
Tração humana	277
Não especificadas	24
Total	1263

Fonte: elaborado pelo autor.

4.3 Análise espacial de dados

4.3.1 Estimativa de densidade *kernel*, estatísticas descritivas e *overlays*

Com o propósito de se estimar as trilhas mais frequentadas no Parque Nacional da Serra do Gandarela e seu entorno, foi utilizada uma ferramenta nativa do software QGIS, denominada *Line Density* (Densidade de linha, na versão traduzida). A utilização de um campo de peso (fator de ponderação) é opcional para o funcionamento da ferramenta, e não foi aplicado para a presente pesquisa. Optou-se por um raio (largura de banda) correspondente a 100 metros, bem como um tamanho de *pixel* de 50 metros. Para definição do tamanho de *pixel*, foi considerada a abrangência regional da área de estudo, sendo este valor sugerido por Tobler (1987; 1988) para análises em escalas inferiores a 1:60.000.

Após a aplicação do método, foram obtidas as estatísticas descritivas para as densidades para cada município. Para avaliar a intensidade de atrativos, foram gerados polígonos de Voronoi a partir dos atrativos, dos quais foram extraídos os valores de densidade média e desvio-padrão. Os polígonos tiveram como ponto de geração uma camada pontual resultante da união entre os dados vetoriais de cachoeiras e mirantes, totalizando 58 atrativos para a área de estudo.

Esse procedimento permite uma avaliação da densidade além das áreas dos municípios, uma vez que estabelece uma área de regionalização ou segmentação para cada atrativo. Trata-se de uma abordagem que possibilita a localização de *hotspots* e *coldspots* da prática turística na região do parque. No que tange aos primeiros, sua identificação permite conferir quais atrativos são mais visitados e, conseqüentemente, pressionados. Com relação aos segundos, podem ser localizados atrativos com potencial turístico e que são menos pressionados. Essa abordagem, de caráter suplementar, acaba por potencializar a aplicação da densidade de Kernel por linha, uma vez que, como se poderá observar, o método não foi tão explícito para evidenciar as diferenças de densidade na área de estudo.

A obtenção das camadas de cachoeiras e mirantes teve diversas fontes, incluindo a obtenção a partir de mapeamento colaborativo. A camada de cachoeiras não é disponibilizada de maneira oficial. Assim sendo, ela foi obtida a partir do site Trilhas Perdidas (2023), que elaborou uma metodologia para mapeamento dos atrativos, o que se enquadra no conceito de mapeamento colaborativo. Conforme o site, trata-se de uma "Camada vetorial contendo cachoeiras da América do Sul". Descrevendo a metodologia pela qual eles obtiveram os pontos, foram enumerados dois procedimentos:

- "1. Através de marcação manual, analisando diferentes imagens aéreas e diversas fontes de dados (OSM e Google Maps).
2. Através de mecanismos automatizados, que combinam rasters e lógica fuzzy para dar o grau de confiabilidade das marcações. Esse grau de confiabilidade varia entre 0 e 1, com valores próximos a 1 indicando alta confiabilidade na marcação da queda d'água." (Trilhas Perdidas, 2023, p. 1).

A partir da camada disponibilizada pelo site, foram adicionados novos pontos de cachoeiras a partir da verificação visual do Google Maps. Dessa forma, o número de cachoeiras abrangidos pela área de estudo é de 40. Da mesma maneira, a camada de mirante foi elaborada a partir de uma camada vetorial em branco, já que inexistem mapeamentos oficiais ou colaborativos do atrativo. Assim como feito pelo site Trilhas Perdidas, foi realizada a marcação manual a partir de imagens de satélite do *Google Earth* e dados do *Open Street Map* e *Google Maps*.

4.3.2 Polígonos de Voronoi e LISA

Os polígonos de Voronoi foram gerados a partir de 58 atrativos, incluindo cachoeiras e mirantes. Para isso, foi utilizada a ferramenta Polígonos de Voronoi do *software* QGIS. Depois, a partir da ferramenta de Estatísticas Zonais, no mesmo *software*, foram obtidas a média e o desvio-padrão das densidades para todos os polígonos.

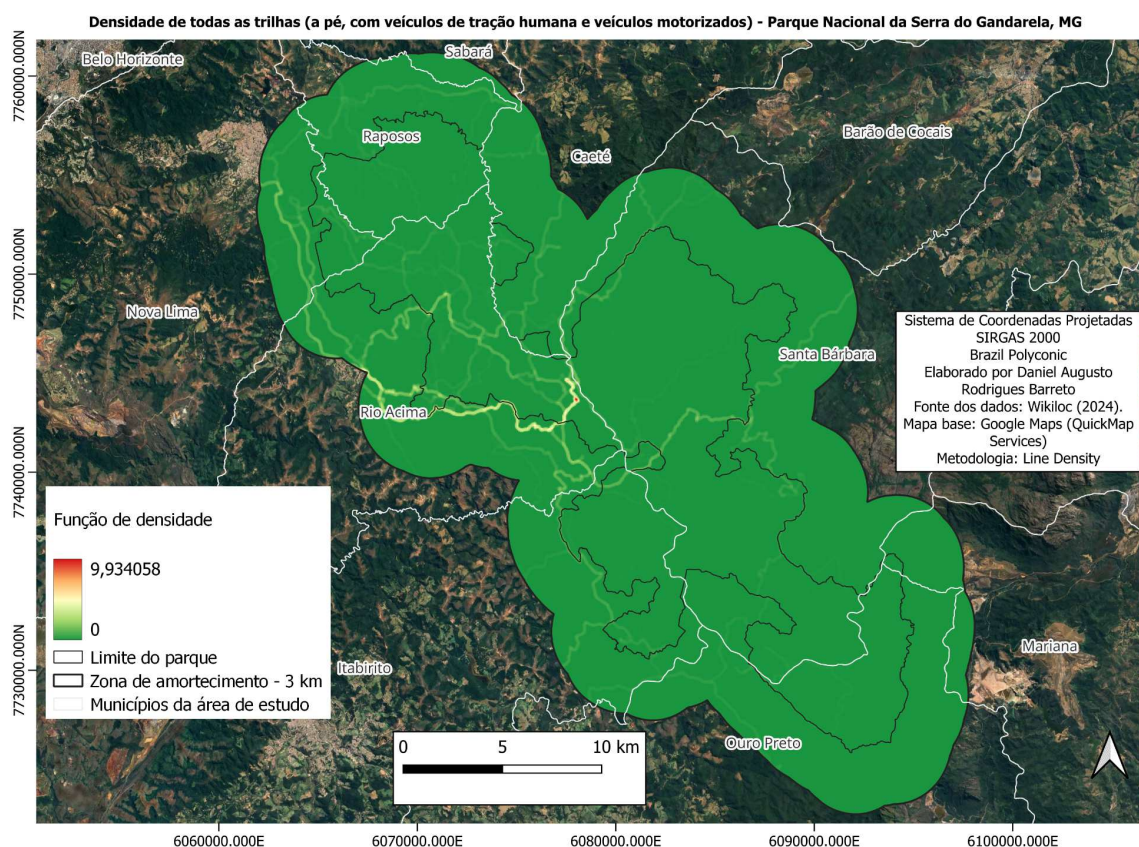
Com o *software* GeoDa, calculou-se o índice de Moran local univariado para os polígonos gerados. A matriz de contiguidade escolhida foi do tipo rainha, com vizinhança de primeira ordem. Por sua vez, a variável de análise foi a média das densidades. Assim como para os municípios, além da análise para todas as trilhas, também foram obtidos resultados de estatística descritiva e autocorrelação espacial para as densidades das trilhas com veículos motorizados, a pé e com veículos de tração humana. Ainda no *GeoDa*, além do mapa de *clusters* e *outliers*, é fornecido um mapa que demonstra a significância estatística do teste de autocorrelação espacial e um gráfico de dispersão com o cálculo do Moran global. No presente estudo, foi mantida a configuração padrão, que realiza 999 permutações para obter esse resultado (Anselin, 2020).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Mapas de densidade de trilhas a pé, com veículos de tração humana e veículos motorizados e estatísticas descritivas

O uso da ferramenta de densidade de linha permitiu calcular a KDE na região do parque, respectivamente, para todas as trilhas (figura 14), para as trilhas com veículos motorizados (figura 15), as trilhas a pé (figura 16) e, por fim, trilhas com veículos de tração humana (figura 17). A simbologia de todos os mapas usou a renderização de banda simples falsa-cor, interpolação linear de valores e modo contínuo.

Figura 14: Densidade de todas as trilhas no Parque Nacional da Serra do Gandarela



Fonte: elaborado pelo autor.

Como é possível observar na figura (14), algumas trilhas na porção centro-oeste do parque chegam a apresentar uma função de densidade com um valor que chega a 8. Toda porção noroeste do parque apresenta uma maior densidade. Trata-se de uma porção que abrange os municípios de Nova Lima e Rio Acima. As superfícies

de densidade com maior valor se encontram no município de Rio Acima. Na tabela (2) abaixo, pode-se conferir os valores médios de densidade nos municípios, com seus respectivos desvios-padrão. A opção da média em detrimento da mediana se deu porque, apesar de ser mais aplicável a dados de maior simetria de distribuição, a maioria dos valores de densidade são 0 ou próximos de 0, o que resultou num valor de mediana igual a 0.

Tabela 2: Médias das densidades de todas as trilhas por município abrangido pelo Parque

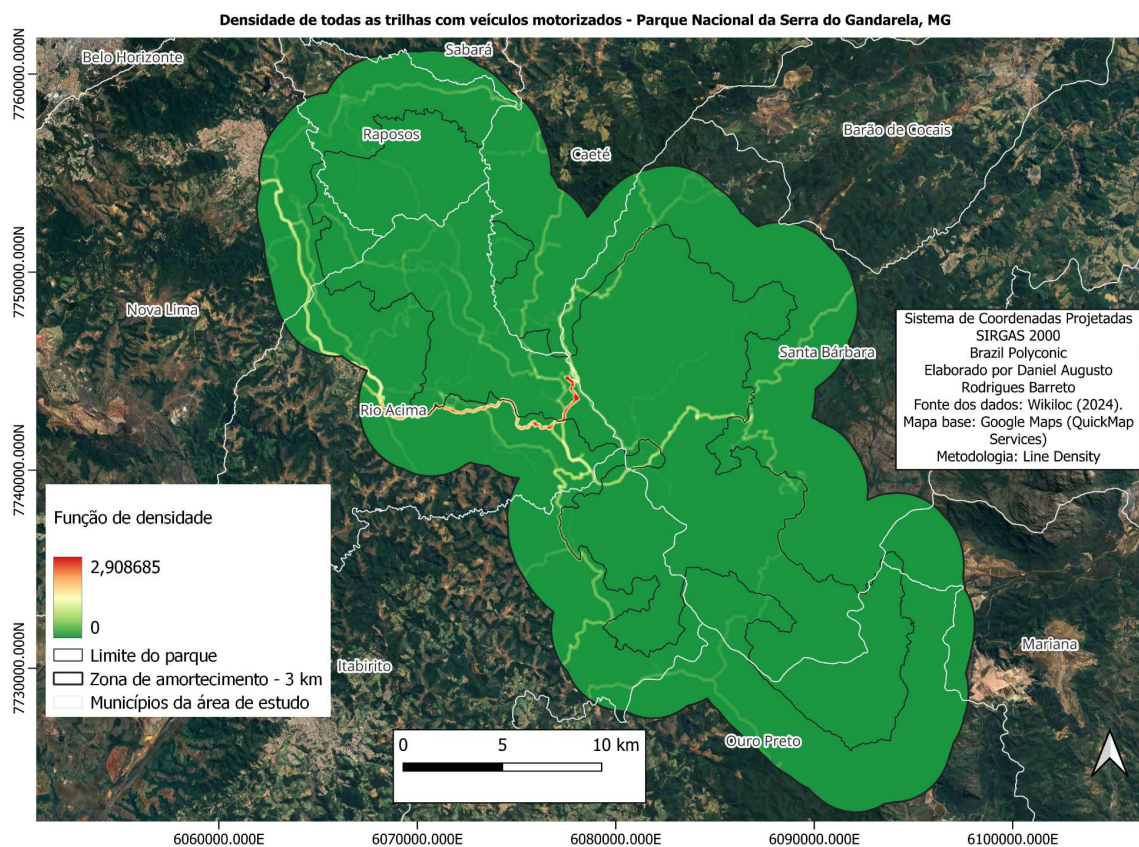
Município	Média da densidade	Desvio-padrão
Rio Acima	0,18072	0,55245
Nova Lima	0,10488	0,25551
Caeté	0,04420	0,12775
Itabirito	0,04143	0,14350
Raposos	0,02970	0,07818
Santa Bárbara	0,02870	0,12259
Ouro Preto	0,00943	0,04125
Sabará	0,00794	0,04286
Mariana	0,00068	0,00356

Fonte: elaborado pelo autor

O município de Nova Lima, apesar de apresentar uma menor densidade média, conta com um desvio-padrão inferior ao município de Rio Acima, indicando uma densidade mais constante.

Na figura (15) a seguir, pode-se observar as densidades para as trilhas realizadas com veículos motorizados.

Figura 15: Densidade Kernel para as trilhas com veículos motorizados no Parque Nacional da Serra do Gandarela



Fonte: elaborado pelo autor.

A superfície Kernel para as trilhas de veículos motorizados revela uma maior distribuição das densidades ao longo do parque, o que difere dos valores para trilhas a pé e trilhas com veículos de tração humana, que serão exibidos adiante. A explicação lógica para isso é que os veículos motorizados permitem que os usuários percorram maiores distâncias. De fato, existem trilhas de grande distância no site, como uma que percorre o Brasil desde o estado do Maranhão até as proximidades da cidade de São Paulo. Pode-se observar que há uma densidade relativamente mais elevada na porção centro-norte do parque, onde está situada a sinclinal Gandarela e que corresponde, majoritariamente, ao município de Santa Bárbara. Observando os valores médios de densidade (tabela 3), nota-se que há a mesma densidade média até Itabirito, sendo que a média é superior no município de Santa Bárbara, com relação a Raposos.

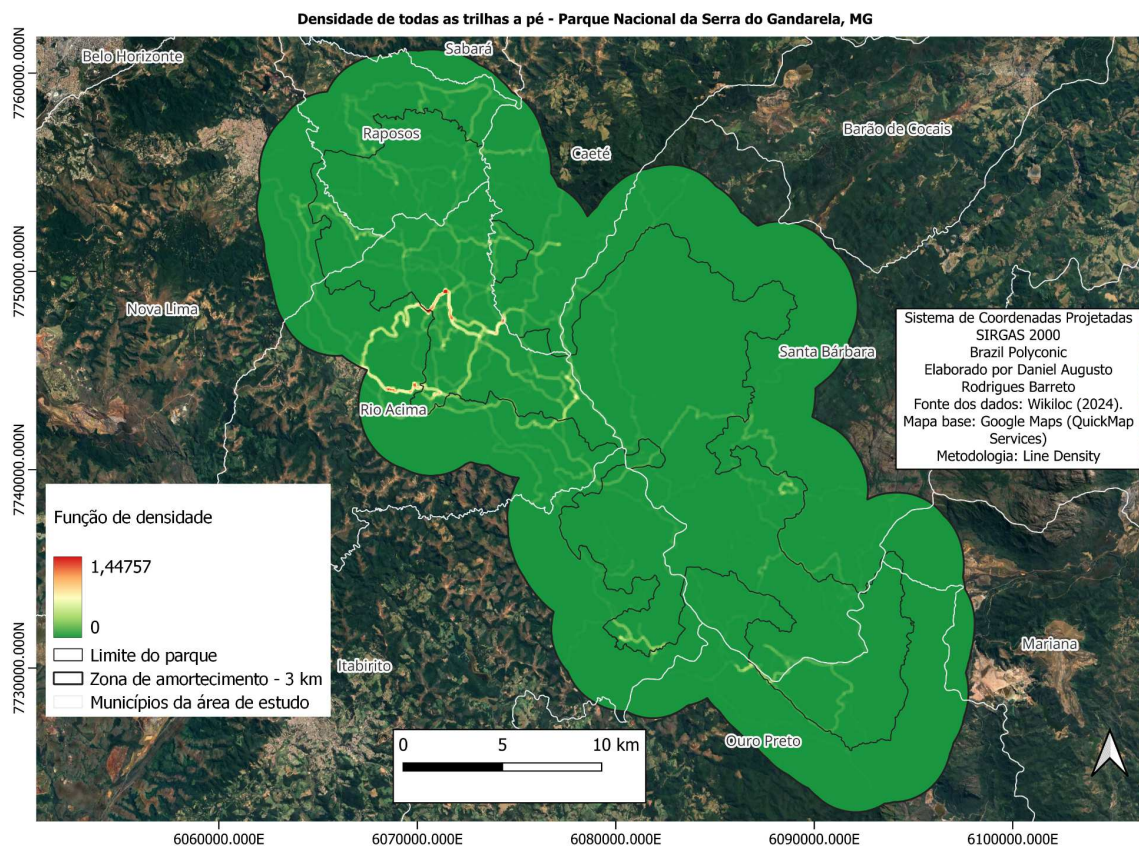
Tabela 3: Médias das densidades das trilhas realizadas com veículos motorizados por município abrangido pelo Parque

Município	Média da densidade	Desvio-padrão
Rio Acima	0,08506	0,32332
Nova Lima	0,05893	0,17275
Caeté	0,02421	0,07649
Itabirito	0,02398	0,09493
Santa Bárbara	0,01735	0,08257
Raposos	0,01337	0,04842
Sabará	0,00638	0,03299
Ouro Preto	0,00379	0,02400
Mariana	0,00056	0,00349

Fonte: elaborado pelo autor.

Na figura (16) a seguir, é exibida a superfície de Kernel para as trilhas realizadas a pé.

Figura 16: Densidade Kernel para as trilhas a pé no Parque Nacional da Serra do Gandarela.



Fonte: elaborado pelo autor.

Percebe-se que a função de densidade retorna um valor inferior para as trilhas a pé, ainda que elas representem a maioria das trilhas (Tabela 4). Ademais, diferentemente dos outros mapas, o município de Caeté apresenta uma maior densidade média, embora muito próxima, do que o município de Nova Lima. As densidades tendem a ser inferiores com relação àquelas obtidas com veículos. Isso pode estar associado ao fato de que os usuários que realizam os percursos com veículos motorizados, ou mesmo de tração humana, acabam tendo trajetos mais restritos do que quem os percorre a pé. Por um lado, as trilhas a pé geram menos impactos como degradação do solo; entretanto, a possibilidade de percorrer trajetos distintos pode contribuir para a ramificação de trilhas.

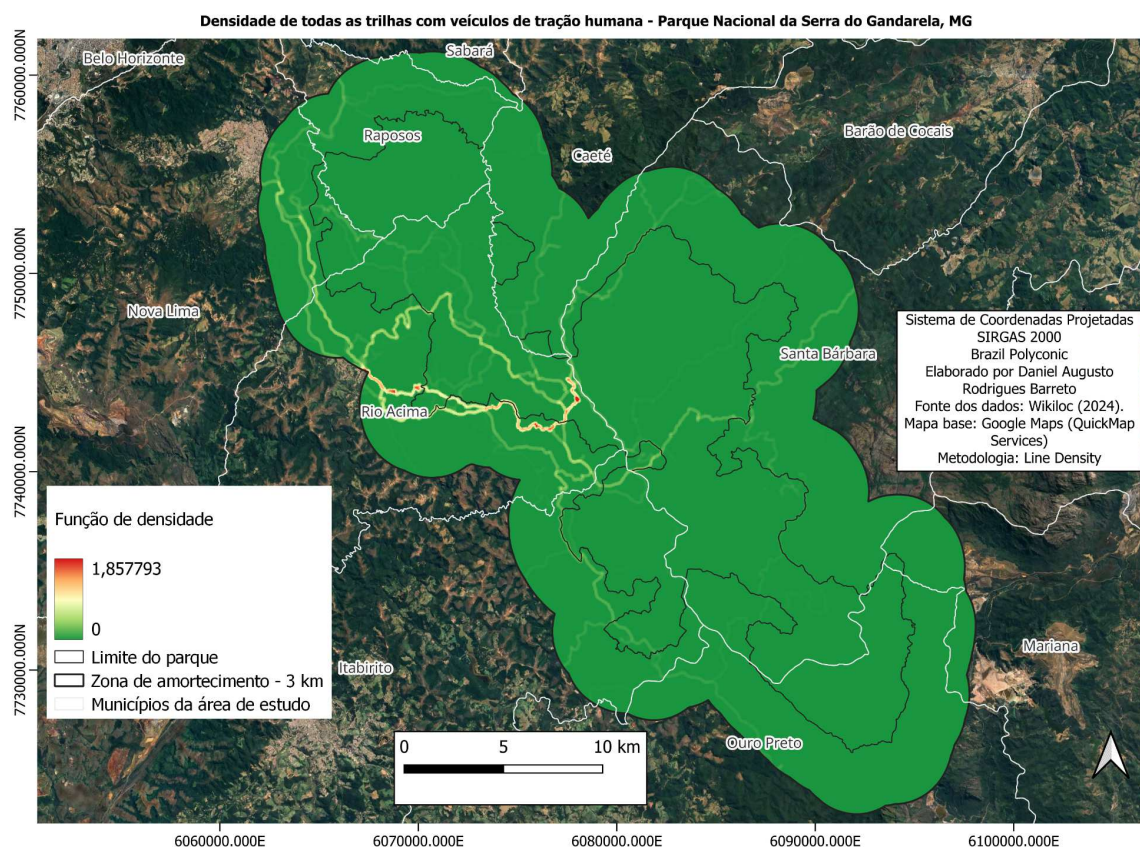
Tabela 4: Médias das densidades das trilhas realizadas a pé por município abrangido pelo Parque

Município	Média da densidade	Desvio-padrão
Rio Acima	0,03758	0,11481
Caeté	0,01368	0,04110
Nova Lima	0,01326	0,03706
Raposos	0,01227	0,02913
Itabirito	0,00667	0,02911
Santa Bárbara	0,00501	0,01915
Ouro Preto	0,00422	0,02365
Sabará	0,00111	0,00660
Mariana	0,00001	0,00025

Fonte: elaborado pelo autor.

Por fim, no mapa abaixo (figura 17), é possível observar a superfície Kernel para as trilhas feitas com transportes de tração humana.

Figura 17: Densidade Kernel para as trilhas com transportes de tração humana no Parque Nacional da Serra do Gandarela



Fonte: elaborado pelo autor.

Assim como nos outros casos, o município com maior média de densidade continua sendo Rio Acima, seguido por Nova Lima (Tabela 5). Caeté acabou sendo menos expressiva do que Itabirito, que conta com a terceira maior densidade. A função de densidade apresenta um valor próximo ao das trilhas a pé. Entretanto, a média da densidade em Rio Acima é superior nas trilhas com veículos por tração humana do que nas trilhas a pé.

Tabela 5: Médias das densidades das trilhas realizadas com veículos por tração humana por município abrangido pelo Parque

Município	Média da densidade	Desvio-padrão
Rio Acima	0,05429	0,17855
Nova Lima	0,03019	0,07482

Município	Média da densidade	Desvio-padrão
Itabirito	0,00957	0,03555
Caeté	0,00568	0,02209
Santa Bárbara	0,00523	0,02476
Raposos	0,00351	0,01615
Ouro Preto	0,00110	0,00787
Sabará	0,00049	0,00418

Fonte: elaborado pelo autor

O uso público intenso no município de Rio Acima pode impactar na conservação do município, o qual, conforme o Anexo G, destaca-se com 12,65% da área de formação florestal na área de estudo, bem como 33,31% da área de formação campestre e 21,61% da formação savânica. O município de Rio Acima, por sinal, conta com seu centro urbano nas proximidades do PNSGa, perfazendo 11,30% da classe de área urbanizada, bem como 30,74% da área de pastagem da área de estudo. Assim sendo, o controle da visitação deve ser prioritário nessa porção.

De modo geral, um padrão que se repete entre os municípios com uso mais intenso, é a proximidade de áreas urbanizadas com relação ao parque. Trata-se de um aspecto que não foi incluído, *a priori*, na pesquisa, mas que é notável ao observar que Rio Acima, já aludido, Raposos (Anexo J) e Nova Lima (Anexo L) apresentam, respectivamente, 11,30%, 19,31%, e 30,65% da classe de área urbanizada na área de estudo, totalizando 61,26% do percentual total de área urbanizada na área de estudo. Caeté (Anexo K) e Itabirito (Anexo H) não apresentam a classe de área urbanizada entre as classes de uso e cobertura na área de estudo, de modo que suas manchas urbanas estão mais distantes da área do município; o mesmo ocorre com Santa Bárbara (Anexo F), cujo centro urbano está distante do parque. Nos casos de Ouro Preto (Anexo I) e Mariana (Anexo M), há, conforme se pode observar na Figura 9, uma ampla cobertura de afloramento rochoso que limita o acesso ao

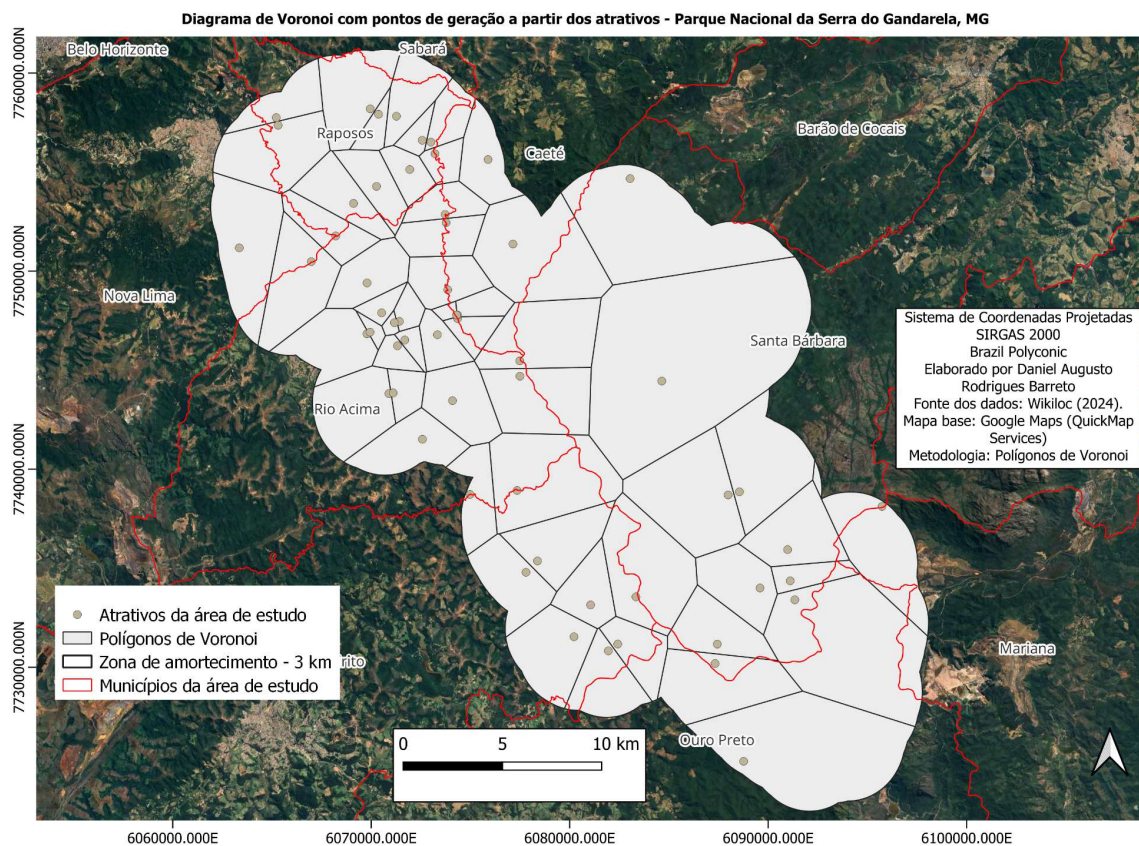
parque pelo sul, o que pode, supõe-se, reduzir o influxo de visitantes nessa porção que se encontra relativamente inacessível.

A análise dos mapas com a superfície Kernel calculada, bem como do resumo estatístico descritivo por município, permite concluir que os transportes motorizados acabam levando a uma maior densidade de trilhas, além de que percorrem distâncias maiores. Além disso, é possível inferir que as trilhas realizadas a pé ou com veículos de tração humana apresentam uma menor densidade, ainda que sejam mais representativas do ponto de vista amostral; entretanto, acabam se utilizando de mais caminhos. Os resultados analisados neste tópico vão de encontro à análise apresentada em Silva *et al.* (2022), exibido no quadro 3. Nele, os municípios de Caeté, Nova Lima, Raposos e Rio Acima apresentam um uso público intenso. A única exceção, diante dos dados desta pesquisa, encontra-se para a presença de Itabirito em destaque nas diversas tabelas, sendo que, no quadro, o município apresenta um uso público moderado. Os resultados podem indicar que o uso público em Itabirito pode figurar no grupo do tipo intenso.

5.2 Análise de polígonos de Voronoi e LISA

Conforme uma das hipóteses instrumentais, esperava-se que os atrativos correspondessem a áreas com maior densidade. Para verificar a hipótese, foi gerado um diagrama de Voronoi a partir de 58 atrativos, dentre cachoeiras e mirantes (Figura 18). Os atrativos do parque podem ser observados, detalhadamente, nos anexos (B, C, D e E). A partir deles, novamente, foi utilizada a ferramenta que obtém estatísticas zonais, desta vez, para cada um dos *rasters* com a densidade de linhas. Posteriormente, os polígonos gerados receberam o cálculo do índice de Moran local univariado, com o objetivo de testar a existência de *clusters* e *outliers* estatisticamente significativos de autocorrelação espacial entre as médias de densidade dos polígonos.

Figura 18: Diagrama de Voronoi para os atrativos na área de estudo

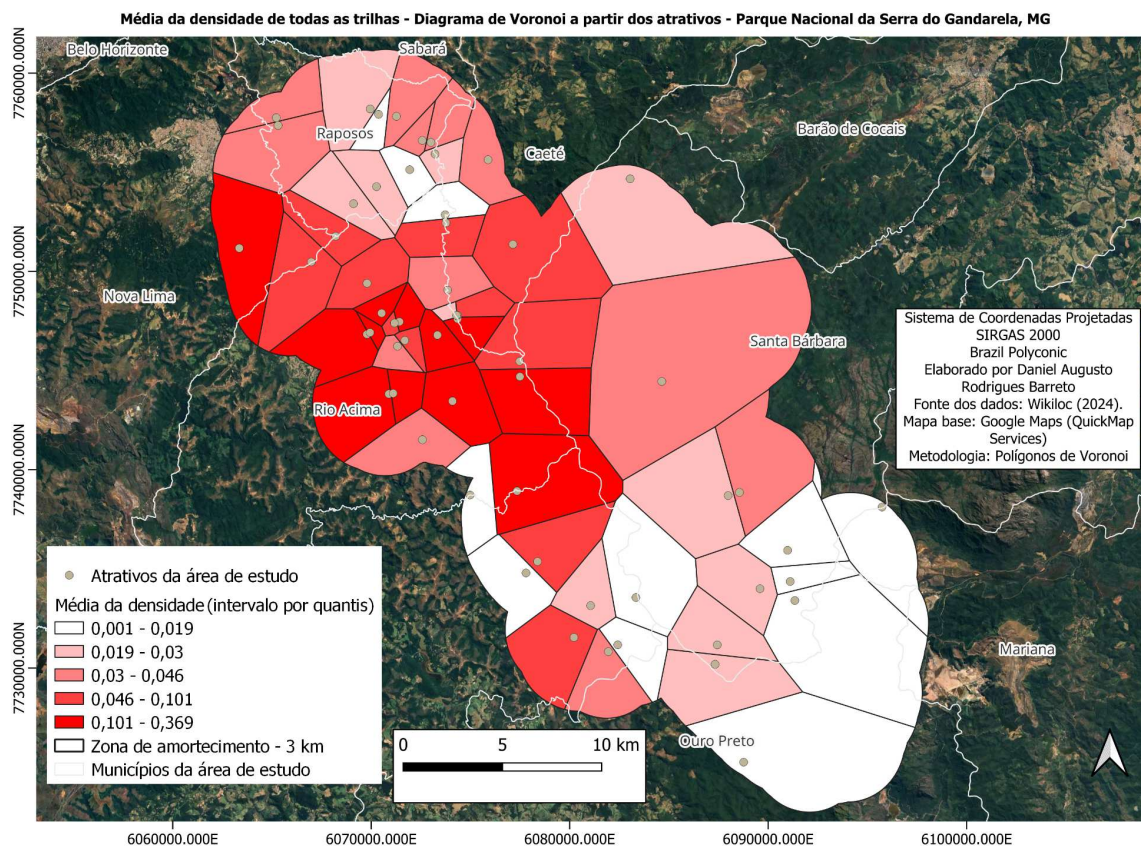


Fonte: elaborado pelo autor

A obtenção das estatísticas zonais da densidade de todas as trilhas possibilitou a geração do mapa (figura 19) coroplético abaixo, que indica a média das densidades para cada polígono de Voronoi. A simbologia aplicada tem o intervalo por quantis.

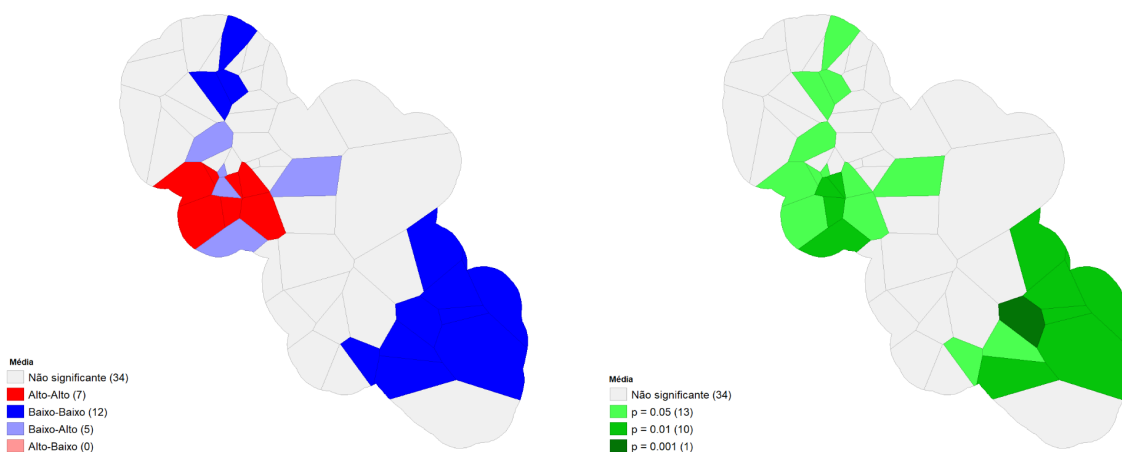
Nas figuras (19 e 20) a seguir, estão presentes, respectivamente, a média das densidades para todas as trilhas, bem como os resultados da aplicação do método LISA.

Figura 19: Média da densidade de todas as trilhas para cada polígono de Voronoi na área de estudo



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 20: Método LISA e significância estatística para os polígonos de Voronoi com a média de densidade de todas as trilhas



Fonte: elaborado pelo autor.

O quadro (5) abaixo expressa as médias de densidade e os desvios-padrão para cada polígono de Voronoi para todas as trilhas com autocorrelação espacial estatisticamente significativa, destacando os nomes dos atrativos com valores altos e baixos.

Quadro 5: *Hotspots* e *coldspots* nos polígonos de Voronoi - gerados a partir dos atrativos - para todas as trilhas

Nome do atrativo e localização	Média da densidade	Desvio-padrão	Cluster/outlier	Pseudo p-valor
Cachoeira do Viana - Rio Acima	0,3629	0,6946	Alto-alto	0,009
Cachoeira Tinta Roxa - Rio Acima	0,3248	0,8656	Alto-alto	0,013
Cachoeira do Índio - Rio Acima	0,3027	0,7751	Alto-alto	0,038
Cachoeira Imperial (Garganta do Diabo) - Rio Acima	0,2062	0,5124	Alto-alto	0,024
Morro do Careca - Rio Acima	0,2004	0,3278	Alto-alto	0,043
Cachoeira da Esmeralda - Rio Acima	0,1060	0,2355	Alto-alto	0,047
Cachoeira Capitão das Matas - Rio Acima	0,0928	0,2018	Alto-alto	0,004
Cachoeira do Pirata - Rio Acima	0,0584	0,0388	Baixo-alto	0,020
Mirante 360 - Rio Acima	0,0560	0,2108	Baixo-alto	0,018
Cruzeiro Alto do Mingu - Rio Acima	0,0511	0,0944	Baixo-alto	0,038
Cachoeira Poço da Onça - Rio Acima	0,0424	0,2455	Baixo-alto	0,003
Cachoeira dos Perdidos - Raposos	0,0355	0,1076	Baixo-baixo	0,036
Cachoeira Capivari - Santa Bárbara	0,0337	0,1084	Baixo-baixo	0,008
Cachoeira das Pedras - Rio Acima	0,0322	0,0738	Baixo-alto	0,007

Nome do atrativo	Média da densidade	Desvio-padrão	Cluster/outlier	Pseudo p-valor
Cachoeira do Córrego das Flechas - Santa Bárbara	0,0290	0,0708	Baixo-baixo	0,005
Cachoeira da Paciência - Santa Bárbara	0,0281	0,0664	Baixo-baixo	0,001
Pico Raposos - Raposos	0,0228	0,0465	Baixo-baixo	0,013
Pico do Capanema - Santa Bárbara	0,0192	0,0525	Baixo-baixo	0,013
Cachoeira do Abacaxi (Cruzado) - Itabirito	0,0177	0,0674	Baixo-baixo	0,031
Cachoeira Iracemas - Raposos	0,0176	0,0314	Baixo-baixo	0,020
Pico Casa Nova - Santa Bárbara	0,0103	0,0203	Baixo-baixo	0,003
Pico dos Coqueiros - Santa Bárbara	0,0037	0,0138	Baixo-baixo	0,002
Pico Capivari - Santa Bárbara	0,0034	0,0124	Baixo-baixo	0,005
Canjerana - Santa Bárbara	0,0008	0,0039	Baixo-baixo	0,004

Fonte: elaborado pelo autor.

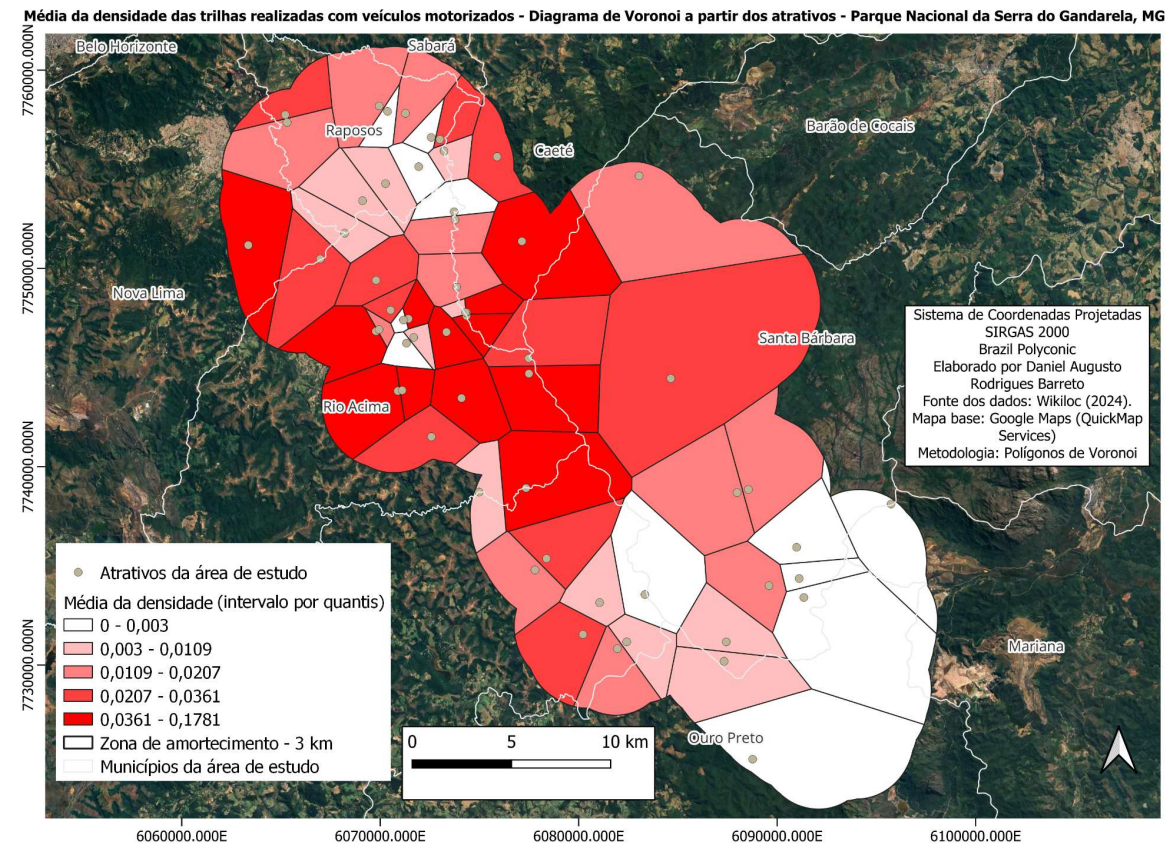
Dentre os atrativos listados, as cachoeiras do Viana e do Índio, situadas em Rio Acima e no *cluster* alto-alto, são abordadas em Silva *et al.* (2022) como atrativos muito pressionados, com sobrecarga de visitação. Além disso, os autores mencionaram o Morro do Careca (em Rio Acima), também no *cluster* alto-alto e que sofre processos erosivos. Alguns atrativos em Rio Acima se destacam, entretanto, por serem *outliers* baixo-alto, como é o caso da Cachoeira do Pirata e da Cachoeira Poço da Onça. As razões para isso demandam uma investigação mais detalhada; entretanto, pode-se supor que sejam atrativos mais isolados com relação às trilhas e com vegetação mais densa no entorno. Certos polígonos referentes a atrativos como o Mirante da Serra do Gandarela, em Rio Acima, as cachoeiras das 27 Voltas (Nova Lima), Santo Antônio (entre Caeté e Raposos) e o Poço Azul (Raposos), citados

pelos autores como apresentando uso intenso, não tiveram autocorrelação espacial estatisticamente significativa. No caso do Mirante da Serra do Gandarela, ele se avizinha ao Mirante 360, outro atrativo visitado e que se inclui no *outlier* baixo-alto, por apresentar uma média de densidade baixa e circundada por médias altas.

Na porção sudeste do parque, em área que corresponde aos municípios de Itabirito, Ouro Preto, Mariana e Santa Bárbara, há um extenso *cluster* de valores baixo-baixo, o que corresponde ao uso público incipiente apontado por Silva *et al.* (2022). Os autores mencionam a Cachoeira do Capivari, a de maior altitude no parque, que conta com acesso precário e baixo fluxo de visitantes. No município de Santa Bárbara, há o maior fragmento de Mata Atlântica do Quadrilátero Ferrífero, também conforme os autores, dado o difícil acesso. Trata-se de algo observável no mapa de uso e cobertura do solo, previamente exibido (Figura 9). De fato, a abertura do terreno, que indica sua acessibilidade, é um dos fatores que influenciam os padrões de caminhada dos visitantes e, conseqüentemente, o uso público das áreas (Weitkamp *et al.*, 2011; Meijles *et al.*, 2014).

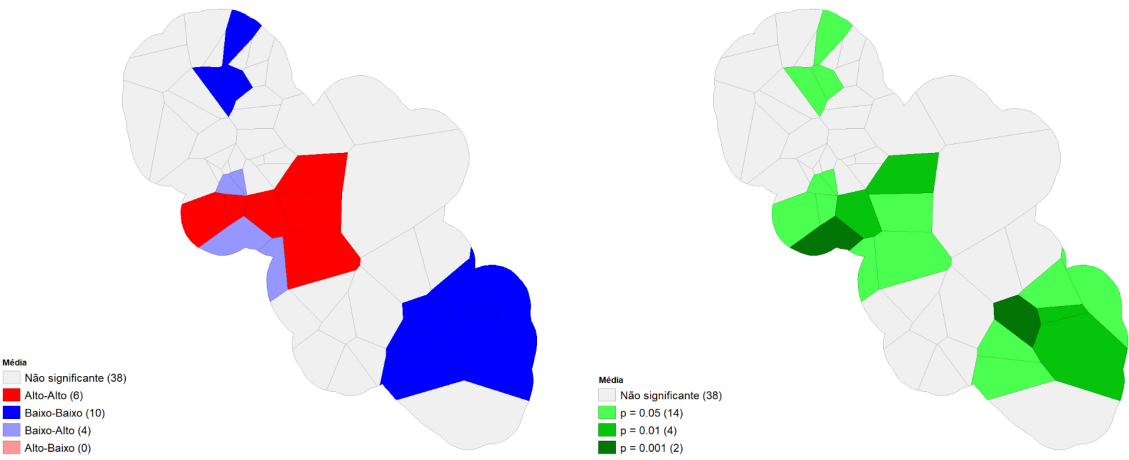
Na figuras (21 e 22) a seguir, estão presentes, respectivamente, a média das densidades das trilhas com veículos motorizados, bem como os resultados da aplicação do método LISA.

Figura 21: Média da densidade das trilhas realizadas com veículos motorizados para cada polígono de Voronoi na área de estudo



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 22: Método LISA e significância estatística para os polígonos de Voronoi com a média de densidade das trilhas com veículos motorizados



Fonte: elaborado pelo Autor.

O próximo quadro (6) expressa as médias de densidade e os desvios-padrão para cada polígono de Voronoi para as trilhas com veículos motorizados que apresentaram autocorrelação espacial estatisticamente significativa, destacando os nomes dos atrativos com valores altos e baixos.

Quadro 6: *Hotspots* e *coldspots* nos polígonos de Voronoi - gerados a partir dos atrativos - para as trilhas realizadas com veículos motorizados

Nome do atrativo e localização	Média da densidade	Desvio-padrão	Cluster/outlier	Pseudo p-valor
Cachoeira Tinta Roxa - Rio Acima	0,1781	0,5085	Alto-alto	0,004
Mirante Serra do Gandarela - Rio Acima	0,1652	0,5163	Alto-alto	0,012
Cachoeira do Viana - Rio Acima	0,1610	0,4458	Alto-alto	0,011
Cachoeira do Índio - Rio Acima	0,1470	0,4766	Alto-alto	0,039
Cachoeiras da Chica Dona - Itabirito	0,0848	0,2254	Alto-alto	0,044
Mirante 360 - Rio Acima	0,0341	0,1373	Alto-alto	0,007
Cachoeira Poço da Onça - Rio Acima	0,0262	0,1695	Baixo-alto	0,001
Cachoeira dos Perdidos - Raposos	0,0204	0,0686	Baixo-baixo	0,033
Cachoeira da Paciência - Santa Bárbara	0,0135	0,0348	Baixo-baixo	0,001
Cachoeira Capitão das Matas - Rio Acima	0,0099	0,0294	Baixo-alto	0,019
Pico do Capanema - Santa Bárbara	0,0099	0,0334	Baixo-baixo	0,024
Pico Raposos - Raposos	0,0090	0,0239	Baixo-baixo	0,014

Nome do atrativo	Média da densidade	Desvio-padrão	Cluster/outlier	Pseudo p-valor
Cachoeira do Córrego das Flechas - Santa Bárbara	0,0083	0,0344	Baixo-baixo	0,030
Cachoeira do Baú - Itabirito	0,0066	0,0291	Baixo-alto	0,030
Cachoeira Iracemas - Raposos	0,0014	0,0034	Baixo-baixo	0,016
Pico Casa Nova - Santa Bárbara	0,0010	0,0034	Baixo-baixo	0,010
Cachoeira das Pedras - Rio Acima	0,0009	0,0050	Baixo-alto	0,037
Pico dos Coqueiros - Santa Bárbara	0,0008	0,0039	Baixo-baixo	0,007
Pico Capivari - Santa Bárbara	0,0003	0,0018	Baixo-baixo	0,034
Canjerana - Santa Bárbara	0,0000	0,0003	Baixo-baixo	0,014

Fonte: elaborado pelo autor.

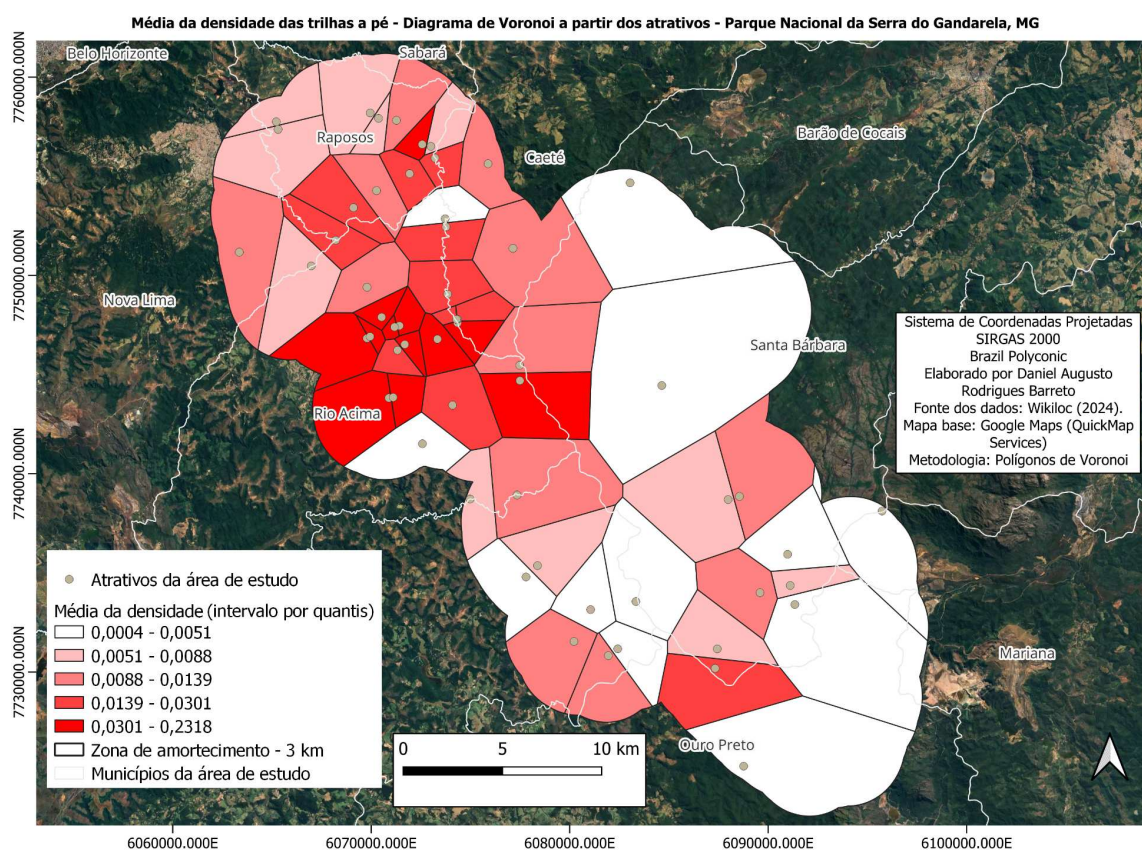
Os resultados dão conta de que as cachoeiras Tinta Roxa, do Viana, do Índio (todas em Rio Acima), da Chica Dona (entre Rio Acima e Itabirito), bem como os mirantes da Serra do Gandarela (Rio Acima) e 360 formam um extenso *cluster* alto-alto, o que converge aos resultados apresentados por Silva *et al.* (2022), que indica o uso intenso em Rio Acima e moderado em Itabirito. O *cluster* baixo-baixo novamente se faz presente e é predominante na porção sudeste do parque, com diversos picos e cachoeiras de difícil acesso para motos, sendo mais viáveis para visitantes a pé e que possam escalar alguns trechos.

Certos mirantes, como o Pico Canjerana, que conta com uma densidade próxima de zero, está na zona de amortecimento do parque e se integra à área da RPPN Santuário do Caraça, sendo que seu acesso somente é autorizado pela entrada da reserva e acompanhamento de guia credenciado na UC (Orientação Outdoor - Wikiloc, 2015). Conforme Silva *et al.* (2022), a circulação de veículos motorizados

para fins recreativos no parque é algo que ocorre há muito tempo, causando impactos ambientais e às atividades incentivadas pela gestão, como caminhada, cicloturismo, observação de aves e educação ambiental.

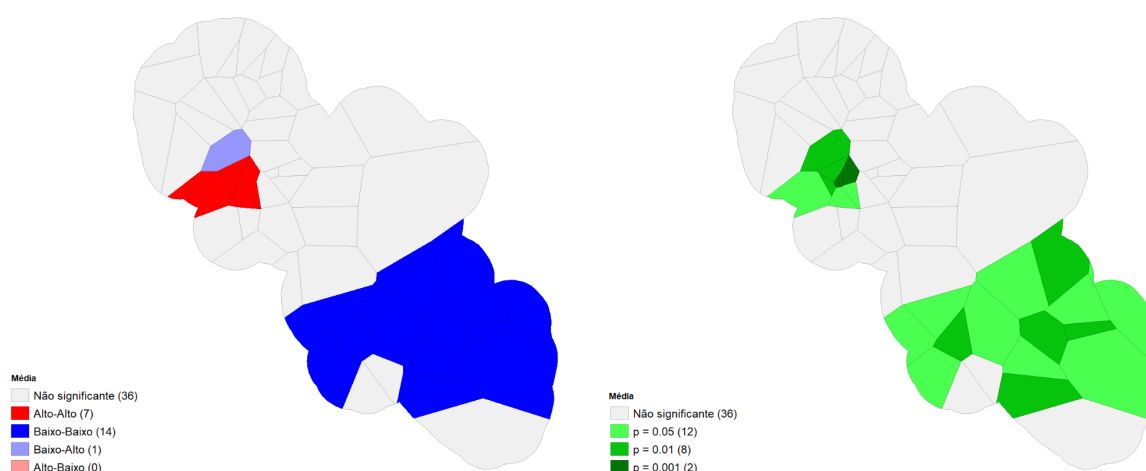
Nas figuras (23 e 24) a seguir, estão presentes, respectivamente, a média das densidades das trilhas a pé, bem como os resultados da aplicação do método LISA.

Figura 23: Média da densidade das trilhas a pé para cada polígono de Voronoi na área de estudo



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 24: Método LISA e significância estatística para os polígonos de Voronoi com a média de densidade das trilhas a pé



Fonte: do autor.

Por sua vez, o quadro (7) expressa as médias de densidade e os desvios-padrão para cada polígono de Voronoi para as trilhas a pé com autocorrelação espacial estatisticamente significativa, destacando os nomes dos atrativos com valores altos e baixos.

Quadro 7: *Hotspots* e *coldspots* nos polígonos de Voronoi - gerados a partir dos atrativos - para as trilhas a pé

Nome do atrativo e localização	Média da densidade	Desvio-padrão	Cluster/outlier	Pseudo p-valor
Cachoeira do Mingu - Rio Acima	0,2318	0,3814	Alto-alto	0,002
Cachoeira do Célio - Rio Acima	0,1537	0,2606	Alto-alto	0,001
Cachoeira Capitão das Matas - Rio Acima	0,0647	0,1202	Alto-alto	0,013
Cachoeira da Esmeralda - Rio Acima	0,0598	0,1101	Alto-alto	0,006
Cachoeira do Pirata - Rio Acima	0,0553	0,0395	Alto-alto	0,001

Nome do atrativo	Média da densidade	Desvio-padrão	Cluster/outlier	Pseudo p-valor
Cachoeira Imperial (Garganta do Diabo) - Rio Acima	0,0528	0,1304	Alto-alto	0,029
Cachoeira das Pedras - Rio Acima	0,0265	0,0665	Alto-alto	0,029
Cachoeira do Córrego das Flechas - Santa Bárbara	0,0179	0,0539	Baixo-baixo	0,005
Cruzeiro Alto do Mingu - Rio Acima	0,0138	0,0270	Baixo-alto	0,005
Cachoeira Borboletas - Itabirito	0,0105	0,0450	Baixo-baixo	0,026
Cachoeira Capivari - Santa Bárbara	0,0089	0,0332	Baixo-baixo	0,002
Cachoeira da Paciência - Santa Bárbara	0,0088	0,0239	Baixo-baixo	0,006
Pico Casa Nova - Santa Bárbara	0,0084	0,0174	Baixo-baixo	0,005
Cachoeira do Gamba - Santa Bárbara	0,0064	0,0179	Baixo-baixo	0,024
Pico do Capanema - Santa Bárbara	0,0061	0,0222	Baixo-baixo	0,047
Cachoeira CCB (Itabirito) - Itabirito	0,0053	0,0111	Baixo-baixo	0,023
Mirante do Espinhaço - Itabirito	0,0049	0,0127	Baixo-baixo	0,005
Ouro Fino - Itabirito	0,0035	0,0093	Baixo-baixo	0,020
Pico Capivari - Santa Bárbara	0,0031	0,0108	Baixo-baixo	0,017
Pico dos Coqueiros - Santa Bárbara	0,0025	0,0126	Baixo-baixo	0,029

Nome do atrativo	Média da densidade	Desvio-padrão	Cluster/outlier	Pseudo p-valor
Canjerana - Santa Bárbara	0,0007	0,0039	Baixo-baixo	0,027
Cachoeira Acuruí - Itabirito	0,0004	0,0033	Baixo-baixo	0,049

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados para as trilhas feitas a pé revelam apenas 7 polígonos no *cluster* alto-alto, concentrados em uma área menos extensa. Outras cachoeiras, não mencionadas nos dois quadros anteriores, são destacadas na análise de autocorrelação, como a do Mingu, do Célio, Capitão das Matas, Esmeralda, do Pirata, Imperial (Garganta do Diabo) e das Pedras. O *cluster* baixo-baixo é ainda mais extenso, disposto pela maior parte do setor sul do parque. O fato de o *cluster* alto-alto ser menos intenso é um indicativo da menor densidade geral das trilhas a pé com relação às trilhas motorizadas, ainda que componham a maioria dos registros de trilhas na amostra.

Por fim, nas figuras (25 e 26) a seguir, estão presentes, respectivamente, a média das densidades das trilhas com veículos de tração humana, bem como os resultados da aplicação do método LISA.

Figura 25: Média da densidade das trilhas com veículos de tração humana para cada polígono de Voronoi na área de estudo

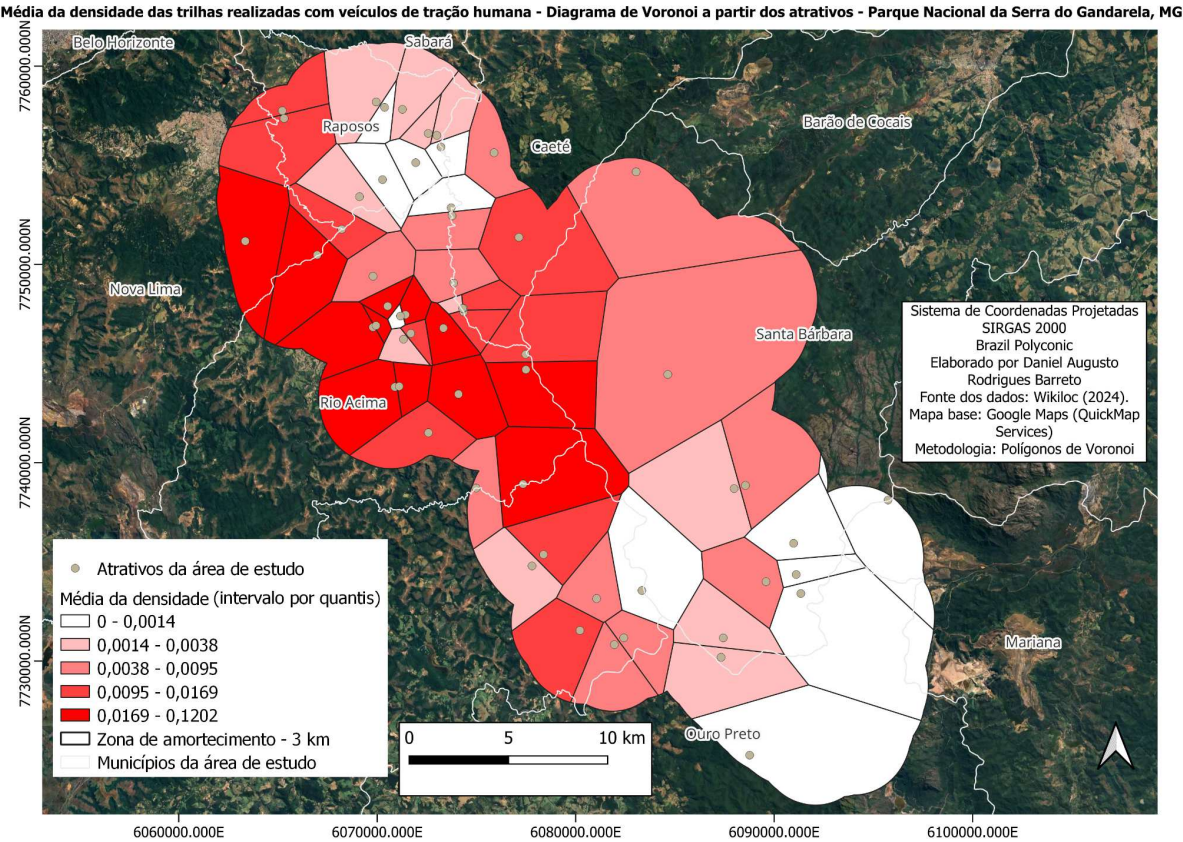
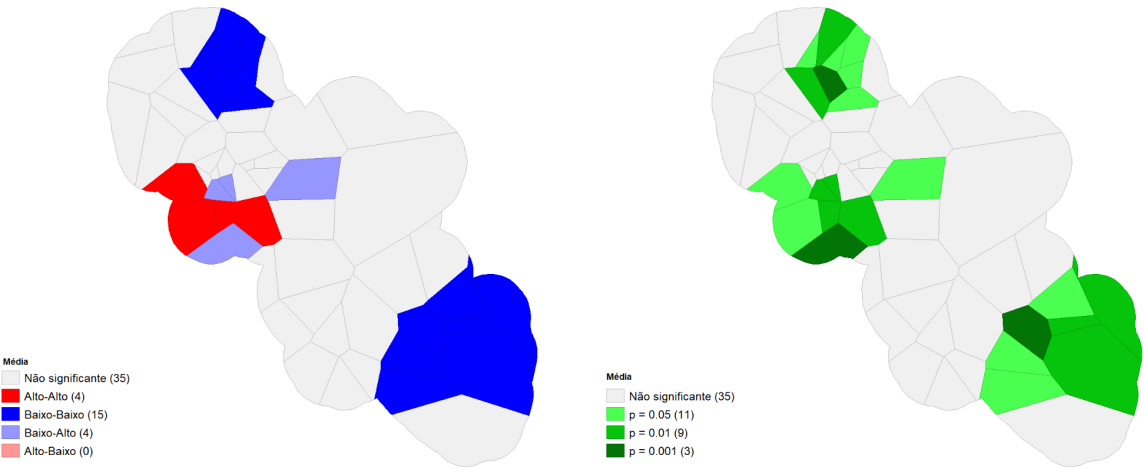


Figura 26: Método LISA e significância estatística para os polígonos de Voronoi com a média de densidade das trilhas com veículos de tração humana



Fonte: do Autor.

Por fim, quadro (8) expressa as médias de densidade e os desvios-padrão para cada polígono de Voronoi para as trilhas com veículos de tração humana que

apresentaram autocorrelação espacial estatisticamente significativa, destacando os nomes dos atrativos com valores altos e baixos.

Quadro 8: *Hotspots* e *coldspots* nos polígonos de Voronoi - gerados a partir dos atrativos - para as trilhas realizadas com veículos de tração humana

Nome do atrativo e localização	Média da densidade	Desvio-padrão	Cluster/outlier	Pseudo p-valor
Cachoeira do Viana - Rio Acima	0,1202	0,2383	Alto-alto	0,006
Cachoeira Tinta Roxa - Rio Acima	0,1161	0,3019	Alto-alto	0,010
Cachoeira do Índio - Rio Acima	0,0959	0,2567	Alto-alto	0,017
Cachoeira Imperial (Garganta do Diabo) - Rio Acima	0,0758	0,1928	Alto-alto	0,038
Cachoeira Capitão das Matas - Rio Acima - Rio Acima	0,0157	0,0538	Baixo-alto	0,004
Cachoeira Poço da Onça - Rio Acima	0,0113	0,0598	Baixo-alto	0,001
Mirante 360 - Rio Acima	0,0104	0,0421	Baixo-alto	0,025
Cachoeira da Paciência - Santa Bárbara	0,0046	0,0099	Baixo-baixo	0,001
Cachoeira do Baú - Raposos	0,0027	0,0090	Baixo-baixo	0,049
Cachoeira das Pedras - Rio Acima	0,0023	0,0059	Baixo-alto	0,005
Pico do Capanema - Santa Bárbara	0,0023	0,0077	Baixo-baixo	0,037
Cachoeira do Córrego das Flechas - Santa Bárbara	0,0022	0,0101	Baixo-baixo	0,032
Cachoeira dos Perdidos - Raposos	0,0022	0,0082	Baixo-baixo	0,007

Nome do atrativo	Média da densidade	Desvio-padrão	Cluster/outlier	Pseudo p-valor
Cachoeira do Encontro - Raposos	0,0015	0,0027	Baixo-baixo	0,016
Cachoeira de Santo Antônio - Raposos	0,0013	0,0038	Baixo-baixo	0,011
Cachoeira Iracemas - Raposos	0,0010	0,0027	Baixo-baixo	0,001
Pico Raposos - Raposos	0,0009	0,0049	Baixo-baixo	0,006
Pico Casa Nova - Santa Bárbara	0,0001	0,0013	Baixo-baixo	0,005
Cachoeira Renegados - Raposos	0,0001	0,0017	Baixo-baixo	0,018
Pico dos Coqueiros - Santa Bárbara	0,0001	0,0012	Baixo-baixo	0,003
Cachoeira do Xaxim - Rio Acima	0,0000	0,0003	Baixo-baixo	0,041
Pico Capivari - Santa Bárbara	0,0000	0,0000	Baixo-baixo	0,014
Canjerana - Santa Bárbara	0,0000	0,0000	Baixo-baixo	0,008

Fonte: elaborado pelo autor

Os resultados das trilhas com veículos de tração humana voltam a se assemelhar aos de veículos motorizados e todas as trilhas combinadas, dado que inclui as cachoeiras intensamente visitadas de Rio Acima, como do Viana, Tinta Roxa e do Índio, todas compondo um *cluster* alto-alto. Há um *outlier* expressivo de atrativos com valor baixo-alto, como das cachoeiras Capitão das Matas, Poço da Onça e das Pedras, bem como um *cluster* baixo-baixo expressivo na porção norte, nas proximidades de Caeté, e outro ao sul, na porção de uso público incipiente.

De maneira geral, os resultados confirmam a presença significativa de áreas mais ou menos intensamente frequentadas no parque, o que justifica e reforça a necessidade de se planejar, com base em dados, o uso público da UC. As hipóteses

de que os atrativos teriam maior densidade se confirma, assim como a análise das trilhas produzidas pelo VGI: as áreas que concentram atrativos, como Rio Acima, apresentam as maiores médias de densidade. Por outro lado, a análise desvelou um aspecto que não foi previsto entre as hipóteses, como a associação entre a proximidade dos centros urbanos dos municípios com áreas e atrativos mais pressionados pela visitação. Haja vista que milhares de pessoas visitam o parque anualmente, trata-se de uma questão que exigirá mais estudos e evidências para elaboração do plano de manejo. Diante dos resultados obtidos na pesquisa, foi proposta uma nova síntese do uso público no parque, que está alinhada aos dados e análises da presente dissertação (Quadro 9):

Quadro 9: Proposta de síntese do uso público do PNSGa com base nos dados e análises da pesquisa

Tipo de uso público	Localização	Características
Intenso	Rio Acima, Nova Lima, Caeté, Raposos e Itabirito (próximo ao limite com Rio Acima)	São os municípios com maior média de densidade Kernel no parque. De modo geral, o município de Rio Acima apresenta os atrativos com maiores médias de densidade nos diferentes tipos de trilhas, sejam cachoeiras, como do Viana, Tinta Roxa, do Índio, etc., ou mirantes, como o Morro do Careca ou Mirante Serra do Gandarela. No estudo de Silva <i>et al.</i> (2022), Itabirito apresenta um uso público moderado, haja vista que conta com atrativos controlados por propriedades que já existiam antes da implementação do PNSGa. Entretanto, há um atrativo como as Cachoeiras da Chica Dona, um <i>cluster</i> alto-alto de média de densidade para veículos motorizados, cuja localização próxima ao limite entre os municípios de Rio Acima e Itabirito, pode influir na frequência da visitação. Assim sendo, incluiu-se, aqui, Itabirito, próximo ao limite com Rio Acima, como apresentando um uso público mais intenso.
Moderado	Itabirito	Conforme Silva <i>et al.</i> (2022), trata-se de um município com regiões em franco desenvolvimento turístico, com a elaboração de roteiros e o trabalho de atores interessados. De fato, diversos atrativos apresentam <i>cluster</i> baixo-baixo, como o Mirante do Espinhaço e Ouro Fino, as cachoeiras do Acuruí, Borboletas e CCB. Assim sendo, o município de Itabirito apresenta usos públicos que podem variar do intenso ao moderado.

Tipo de uso público	Localização	Características
Incipiente	Santa Bárbara e Ouro Preto	Silva <i>et al.</i> (2022) justifica os motivos pelos quais o município de Santa Bárbara apresenta um uso público incipiente: nele, está situada a Sinclinal Gandarela, cujo interior conta com um expressivo fragmento de Mata Atlântica, algo que se confirma no Anexo F, onde a classe de uso e cobertura de Formação florestal situada em Santa Bárbara corresponde a 50,53% da área total dessa classe na área de estudo e 23,50% de toda a área de estudo. Diversos atrativos no município encontram-se nas áreas de cluster baixo-baixo, como é o caso dos picos Capanema, Casa Nova, dos Coqueiros, Capivari e Canjerana (que está apenas na Zona de Amortecimento, fora dos limites do parque) e das cachoeiras do Gamba, do Córrego das Flechas. No caso de Ouro Preto, uma ampla classe de cobertura de afloramento rochoso limita o acesso ao parque pela porção sul.

Fonte: elaborado pelo autor.

Nota-se que, na presente síntese, não foi questionada a presença de Raposos entre o grupo de municípios de uso intenso, haja vista que diversos atrativos ali situados, como as cachoeiras dos Perdidos e Iracemas, bem como o Pico Raposos, formaram *clusters* baixo-baixo nos quadros previamente apresentados. Entretanto, a média de densidade de Raposos para trilhas a pé é inferior apenas à de Rio Acima, Caeté e Nova Lima, conforme se pode observar na Tabela 4.

Por fim, é necessário que se observe com cautela o emprego de VGI para estudos de pressão sobre os recursos naturais, uma vez que podem conter problemas de inconsistência de dados, erros dos aparelhos GPS, que podem não ser tão precisos, além, é claro, do fato de que os dados são apenas amostras de um universo amostral de difícil mensuração, já que não consiste tarefa simples monitorar a movimentação de usuários de modo sistemático.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar a distribuição espacial e a densidade de trilhas no Parque Nacional da Serra do Gandarela. Para isso, combinou a análise do uso público com dados georreferenciados de atrativos naturais. O processo de avaliação empírica do ecoturismo e turismo da natureza na área de estudo se valeu da formalização de um BDG, que teve como premissas de sua elaboração, a natureza do fenômeno, que demandou uma revisão teórica sobre o conceito de ecoturismo e a respeito do turismo na natureza, além das características inerentes aos dados VGI.

Um desafio para o emprego amplo de dados VGI é imposto pelas limitações ao seu acesso e controle de qualidade. No presente estudo, os dados de VGI obtidos estão disponibilizados em um site corporativo, com uma estrutura similar à de uma rede social. Se, por um lado, dados do tipo podem ser muito ricos para estudos empíricos e quantitativos, pelo seu grande volume, o site não é concebido para prover a transferência de seus registros. Assim sendo, o processo exigiu o emprego de técnicas de *web scraping*, com o desenvolvimento de algoritmos capazes de obter e organizar um grande volume de dados. Além disso, algoritmos foram necessários para associar as informações textuais coletadas às geometrias de cada uma das trilhas, uma integração de dados necessária antes de realizar a inserção de dados no ambiente SIG.

A avaliação da densidade de trilhas foi realizada empregando o método de densidade kernel, especificamente para dados lineares. O modelo permite uma verificação visual da concentração de trilhas em determinadas porções da área de estudo, possibilitando a identificação de *hotspots* e *coldspots*, bem como a sua distribuição espacial. Os valores da função de densidade do modelo foram segmentados em diferentes camadas poligonais, para uma análise local da concentração das trilhas. Com a ferramenta de estatísticas zonais, foram extraídas estatísticas descritivas referentes à densidade, particularmente, a média e o desvio-padrão. As feições poligonais que receberam os dados foram, primeiro, os municípios e, depois, polígonos de Voronoi, gerados a partir de 58 atrativos mapeados na área de estudo. O método de polígonos de Voronoi foi necessário para

segmentar a área de estudo a partir dos atrativos, já que a área dos municípios é muito ampla e não permite localizar certas nuances em escala próxima às trilhas, cachoeiras e mirantes. Com relação às métricas utilizadas, ainda que o método KDE seja não-paramétrico, sendo mais indicado, para esses casos, a mediana como medida de tendência central, esta se revelou inviável, dado que boa parte dos valores de densidade foram zero ou muito próximos de zero, o que resultava em medianas de valor zero.

Na presente pesquisa, entretanto, não foi utilizado um método ponderado de geração dos polígonos de Voronoi, que captasse as impedâncias do terreno, como a declividade, a rede hidrográfica e a abertura da área, com base na classe de uso e cobertura. Trata-se de uma sugestão para trabalhos futuros, uma vez que exigiria um aprofundamento nas potencialidades e características de um diagrama de Voronoi. Dessa maneira, seria possível captar as diferenças de densidade explicitando as dificuldades de acesso no terreno, fatores limitantes para a concentração das trilhas. De modo similar, o cálculo da KDE pode incorporar uma análise de custo que torne o cálculo da densidade mais realista, tendo em vista as condições irregulares do terreno.

Outro fator que não foi elencado entre as hipóteses foi a proximidade a manchas urbanas municipais como algo relacionado à maior densidade de visitas. Conforme foi possível observar na análise, isso ocorreu em vários dos municípios que continham os maiores percentuais de cobertura de área urbanizada na área de estudo, como Rio Acima, Raposos e Nova Lima. O mesmo não ocorre em municípios como Itabirito e Caeté, cujas manchas urbanas não estão situadas na área estudada, embora estejam relativamente próximas do parque. Outros fatores de acessibilidade ao parque precisam ser considerados, como os trajetos até entradas e portarias; trata-se de algo notável nos casos de Ouro Preto e Mariana, municípios nos quais a presença de extensas áreas de afloramento rochoso tornam o acesso direto ao parque muito desafiador.

A análise de autocorrelação espacial, expressa no emprego do método LISA, para verificação do índice de Moran local e univariado, demonstrou a ocorrência de *clusters* ao longo da área de estudo, para diferentes tipos de trilhas. Trata-se de uma

análise útil ao planejamento e gestão do uso público de unidades de conservação, uma vez que pode ser aplicado para delimitação de áreas prioritárias para proteção, como aquelas que apresentam um uso muito intenso, ou, até mesmo, de melhora de infraestrutura e divulgação para outras áreas com potencial, mas cujas condições sejam pouco convidativas para os visitantes. No caso em tela, os resultados convergiram ao estudo de Silva *et al.* (2022), indicando municípios e atrativos que, de fato, são muito ou pouco pressionados. Entretanto, o método deve ser aplicado com ressalvas, principalmente pelo fato de ser empregado a partir dos limites entre os polígonos, que só existem abstratamente. Ainda assim, apresenta méritos por empregar um modelo estatístico que pode apontar a significância da autocorrelação espacial dessas áreas. Para outros estudos, pode-se considerar o emprego de outras métricas, como a soma da densidade, o intervalo e, até mesmo, o coeficiente de variação.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros e contribuição para políticas públicas

As considerações finais tecidas acima explicitaram alguns tópicos e abordagens que não puderam ser efetuados na presente pesquisa. A própria pesquisa, aliás, lançou luz sobre algumas possibilidades e óticas para a replicação e o aprimoramento dos modelos aqui empregados, de modo que seja possível avaliar sua eficácia em outros locais e utilizando outras bases de dados, além de se revelar uma possibilidade analítica para trabalhos com escopo similar. Enumerar-se-ão, a seguir, algumas sugestões, que, evidentemente, não esgotam os assuntos que podem ser desvelados após a singela contribuição da presente pesquisa:

- Desenvolver uma modelagem KDE para trilhas que considere a análise de custos e impedâncias do terreno estudado, como a declividade, a malha consolidada de trilhas e a abertura da área;
- Empregar o diagrama de Voronoi com impedâncias para definir a área de influência de atrativos ecoturísticos em áreas protegidas e não-protegidas;
- Utilizar os dados de VGI para o treinamento de modelos baseados em agentes, para simular e estimar o comportamento de visitantes em áreas protegidas;

- Replicar os procedimentos desenvolvidos nesta pesquisa para outras áreas protegidas, avaliando, na prática, sua eficiência e elencando seus pontos fortes e fraquezas;
- Empregar outras métricas para avaliação estatística da densidade, assim como outros modelos para conferir a autocorrelação espacial da densidade de atrativos, como o próprio índice de Moran local, porém, bivariado.

No que tange às políticas públicas, o presente trabalho pode fornecer embasamento científico para a definição de zonas da Unidade de Conservação, de modo que as normas de uso possam limitar certas práticas, como a realização de práticas com veículos off-road e motocross, notadamente na proximidade de cachoeiras, pelo risco de assoreamento. Ademais, pode-se aprimorar a infraestrutura física do parque em locais mais pressionados pela visitação, visando manejar, de modo mais consciente, os recursos naturais nas áreas de atrativos. Além disso, o engajamento das comunidades vizinhas ao parque é necessário, buscando a integração do PNSGa com os povoados e fomentando o desenvolvimento sustentável das atividades econômicas locais. Dessa forma, espera-se que o ecoturismo na região tenha um crescimento que gere retornos positivos para as populações e garanta a manutenção dos processos ecológicos locais.

REFERÊNCIAS

- ALVES, N. *Parna Gandarela e a elaboração do seu Plano de Manejo*. Instituto Prístino, 29 de abril de 2022. Disponível em: <https://institutopristico.org.br/parna-gandarela-e-a-elaboracao-do-seu-plano-de-manejo/>. Acesso em: 13 jul. 2023.
- ALVES, S. D. Sistema de informação geográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., 1990, Manaus. *Anais [...]*. Manaus: INPE, 1990. v. 1, p. 66-78.
- ANSELIN, L. *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht: Springer, 1988. 284 p.
- _____. Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995. DOI 10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>. Acesso em 10 nov. 2024.
- _____.; SYABRI, I.; KHO, Y. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. *Geographical Analysis*, v. 38, n. 1, p. 5-22, 2006. DOI 10.1111/j.0016-7363.2005.00671.x. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.0016-7363.2005.00671.x>. Acesso em 10 nov. 2024.
- _____. *Local indicators of spatial association (LISA)*. 2020. Disponível em: https://geodacenter.github.io/workbook/6a_local_auto/lab6a.html#fn1. Acesso em: 15 nov. 2024.
- ANTENNUCCI, J. C. *et al. Geographic information systems: a guide to the technology*. Nova York: Chapman & Hall, 1991. 301 p.
- ARAÚJO, C. V. F. de. *Ecoturismo, sua prática, seu espaço*. 2003. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2003.
- ASTABURUAGA, J. *et al. Maps, volunteered geographic information (VGI) and the spatio-discursive construction of nature. Digital Geography and Society*, v. 3, 2022. DOI 10.1016/j.diggeo.2022.100029. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.diggeo.2022.100029>. Acesso em: 12 jul. 2023.
- AURENHAMMER, F. Voronoi Diagrams — A Survey of a Fundamental Geometric Data Structure. *ACM Computing Surveys*, v. 23, n. 3, p. 345-405, 1991. DOI 10.1145/116873.116880.. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/116873.116880>. Acesso em 05 nov. 2024.
- BAGGIO, Luiza. Projeto Eco Águas une preservação ambiental ao ecoturismo na Serra do Gandarela. *Comitê de Bacia Hidrográfica Rio das Velhas*, 30 jul. 2021. Disponível em: <https://cbhvelhas.org.br/novidades/projeto-eco-aguas-une-preservacao-ambiental-ao-ecoturismo-na-serra-do-gandarela/>. Acesso em: 23 mai. 2022.
- BAILEY, T. C.; GATRELL, A. C. *Interactive spatial data analysis*. Essex: Longman Scientific & Technical, 1995. 432 p.

BARROS, D. A. *et al.* Breve análise dos instrumentos da política de gestão ambiental brasileira. *Política & Sociedade*, Florianópolis, v. 11, n. 22, p. 155-179, nov. 2012. DOI 10.5007/2175-7984.2012v11n22p155. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2175-7984.2012v11n22p155>. Acesso em 20 out. 2024.

BEZERRA, G. S. Os Fundamentos Teórico-Conceituais do Ecoturismo. *In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA*, 12., 2009, Montevideo. *Anais [...]*. Montevideo: [Editora], 2009.

BORGES, K. A. V. *et al.* Modelagem Conceitual de Dados Geográficos. *In: CASANOVA, M. A. et al. (Ed.). Bancos de Dados Geográficos*. Curitiba: EspaçoGeo, 2005. p. 93-146.

BOZZANO, D. P., “Planificación y Desarrollo de Productos Ecoturísticos desde la perspectiva de la Sostenibilidad”. *In: Conferência preparatória para el año internacional del Ecoturismo, 2002 – Desarrollo y Gestión Sostenibles del Ecoturismo en las Americas*, 2001.

BRASIL. *Agenda 21: Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Brasília: MMA, 1992. 471 p.

_____. Grupo de Trabalho Interministerial MICT/MMA. *Diretrizes para uma política nacional de Ecoturismo*. Brasília: EMBRATUR, 1994. 48 p.

_____. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 19 jul. 2000.

_____. Lei n. 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 22 dez. 2006.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. *Diretrizes para a visitação em unidades de conservação*. Brasília: MMA, 2006. (Áreas Protegidas do Brasil, 3).

_____. Ministério do Turismo. *Ecoturismo: orientações básicas*. Brasília: Ministério do Turismo, 2008.

_____. Decreto de 13 de outubro de 2014. Declara a Serra da Gandarela como Área de Proteção Ambiental. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 13 out. 2014. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/dsn/dsn14013.htm. Acesso em: 12 nov. 2024.

_____. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima; ICMBio. *Visitação nas unidades de conservação federais*: COEST/CGEUP. 2024. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiYzJiNjgzZTkZWI3MS00YzYzM5LTkzMmEtZjZkOGUwNWJhY2FiliwidCI6ImMxNGUyYjU2LWM1YmMtNDNiZC1hZDIjLTQwOGNmNmNjMzU2MCJ9>. Acesso em: 15 nov. 2024.

BERNHARDSEN, T. *Geographic information systems: an introduction*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. 372 p.

BRUNDSO, C.; FOTHERINGHAM, A. S.; CHARLTON, M. E. Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity. *Geographical Analysis*, v. 28, n. 4, p. 281-298, 1996. DOI 10.1111/j.1538-4632.1996.tb00936.x. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1996.tb00936.x>. Acesso em 15 out. 2024.

BRUHNS, Heloisa. O ecoturismo e o mito da natureza intocada. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences*, v. 32, n. 2, p. 157-164, 2010. DOI 10.4025/ACTASCIHUMANSOC.V32I2.8677. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasihumansoc.v32i2.8677>. Acesso em 18 dez. 2022.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford: Oxford University Press, 1998. 352 p.

CÂMARA, G. *et al.* (org.). *Introdução à ciência da geoinformação*. São José dos Campos: INPE, 2001. 345 p.

CAMARGOS, L. M. *et al.* Use of Landscape Metrics and Multi-criteria Analysis to Identify Landscape Units Concerning of Vegetation of Quadrilátero Ferrífero - MG. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 12253, p. 381-393, 2020. DOI 10.1007/978-3-030-58814-4_27. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-58814-4_27. Acesso em 20 set. 2022.

CAMPELO, M. B.; MENDES, R. M. N. Comparing webshare services to assess mountain bike use in protected areas. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, v. 15, p. 82–88, 2016. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.jort.2016.08.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213078016300421?via%3Di> hub. Acesso em 20 set. 2024.

CARMO, F. F.; JACOBI, C. M. A vegetação de canga no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Caracterização e perspectivas de conservação. *Rodriguésia*, v. 64, n. 3, p. 527-541, 2013. DOI 10.1590/S2175-78602013000300005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S2175-78602013000300005>. Acesso em 20 nov. 2024.

CASANOVA, M. A. *et al.* *Banco de Dados Geográficos*. São José dos Campos: INPE, 2005. 504 p.

CASTRO, E. B. V. de. Changing a Brazilian Protected Areas Paradigm: Why Public Use is Not Just Optional. *Journal of Park and Recreation Administration*, v. 36, p. 129-140, 2018. DOI 10.18666/JPRA-2018-V36-I3-8409. Disponível em: <https://doi.org/10.18666/JPRA-2018-V36-I3-8409>. Acesso em 05 jul. 2023.

CEBALLOS-LASCURAIN, H. Depoimento concedido para a série de entrevistas. *Personalidades do Ecoturismo*. Florianópolis, 12 ago. 1996.

_____. Tourism, Ecotourism and Protected Areas. *Parks*, v. 2, n. 3, p. 31-35, 1991. DOI 10.2305/IUCN.CH.1996.7.en. Disponível em: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.1996.7.en>. Acesso em 15 out. 2022.

CHAI-ALLAH, A. *et al.* A trail-based approach using crowdsourced data to assess recreationists' preferences for landscape. *Landscape and Urban Planning*, v.233, 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104700>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204623000191>. Acesso em 05 ago. 2024.

CLARK, R. N.; STANKEY, G. H. *The recreation opportunity spectrum: a framework for planning, management, and research*. Portland: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1979. 32 p.

CLIFF, A. D.; ORD, J. K. *Spatial Processes: Models & Applications*. London: Pion, 1981. 266 p.

COLE, D. N.; MONZ, C. A. Trampling disturbance of high-elevation vegetation, wind river mountains, Wyoming, USA. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, v. 34(4), p. 365–376, 2002. DOI <https://doi.org/10.1080/15230430.2002.12003507>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15230430.2002.12003507>. Acesso em 14 ago. 2024.

COSTA, Patrícia Côrtes. *Ecoturismo: Coleção ABC do Turismo*. São Paulo: Aleph, 2002. 86 p.

CRESSIE, N. *Statistics for spatial data*. New York: Wiley-Interscience, 1993. 900 p.

DA MOTA, V. T. da; PICKERING, C. Using social media to assess nature-based tourism: Current research and future trends. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, v. 3, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jort.2020.100295>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213078020300190>. Acesso em 12 ago. 2024.

DAVIS JR., C. A. *Múltiplas Representações em Bancos de Dados Geográficos*. 2000. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

_____.; FONSECA, F. T.; CÂMARA, G. Infraestruturas de dados espaciais na integração entre ciência e comunidades para promover a sustentabilidade ambiental. *In: WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO APLICADA À GESTÃO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS*, 1., 2009, Bento Gonçalves. *Anais [...]*. Porto Alegre: SBC, 2009. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wcama/article/view/34428/34219>. Acesso em 30 out. 2022.

DE VRIES, S.; GOOSEN, M. Modelling recreational visits to forests and nature areas. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 1, p. 5-14, 2002. DOI <https://doi.org/10.1078/1618-8667-00002>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866704700023>. Acesso em 13 ago. 2024.

DIAMANTIS, D. The Concept of Ecotourism: Evolution and Trends. *Current Issues in Tourism*, v. 2, n. 2-3, p. 93-122, 1999. DOI 10.1080/13683509908667847. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13683509908667847>. Acesso em 24 fev. 2023.

DIEGUES, A. C. *O mito da natureza intocada*. 5. ed. São Paulo: Hucitec, 1996. 169 p.

DRIVER, B. L.; BROWN, P. J. The opportunity spectrum concept and behavioural information in outdoor recreation resource supply inventories: A rationale. In: LUND, H. G. (Ed.). *Integrated inventories of renewable natural resources: Proceedings of the workshop*. Tucson: USDA Forest Service, 1978. 1978 p. 24–31.

DRUMMOND, G. M. et al. *Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para a sua conservação*. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 222 p.

DOTTO, A. C.; CUNHA, D. da R. Tutela ambiental constitucional. *CEPPG – CESUC – Centro de Ensino Superior de Catalão*, n. 22, p. 187-198, 2010. Disponível em: https://www.portalcatalao.com/painel_clientes/cesuc/painel/arquivos/upload/temp/26625e5965231c5baba3c7812914ae05.pdf. Acesso em 08 mar. 2022.

EAGLES, P. F. J.; MCCOOL, S. *Tourism in national parks and protected areas: Planning and management*. Wallingford: CABI, 2002. 320 p.

EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. J. *An Introduction to the Bootstrap*. Nova York: Chapman & Hall/CRC, 1993. 456 p.

ESRI. *How Line Density works*. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-line-density-works.htm>. Acesso em: 12 nov. 2024.

FENNELL, D. A. *Ecoturismo: uma introdução*. 1. ed. São Paulo: Contexto, 2002. 282 p.

_____. *Ecotourism*. 4. ed. Abingdon (Inglaterra): Routledge, 2015. 336 p.

FERREIRA, Marcos. *Iniciação à análise geoespacial: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento*. 1. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2014. 344 p.

FICCDC - FEDERAL INTERAGENCY COORDINATING COMMITTEE ON DIGITAL CARTOGRAPHY. *A process for evaluating GIS*. U.S. Geological Survey, 1988. (Technical Report, n. 1). 141 p. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/of/1988/0105/report.pdf>. Acesso em 24 ago. 2023.

FISCHER, M. M.; GETIS, A. (Ed.). *Handbook of Applied Spatial Analysis: Software Tools, Methods and Applications*. New York: Springer, 2010. 811 p.

FURTADO, D. B. da S. *et al.* Introdução à modelagem conceitual de banco de dados geográfico. In: SINGEP, 7., 2018, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: [s.n.], 2018. Disponível em: <https://www.singep.org.br/7singep/resultado/175.pdf>. Acesso em 14 set. 2024.

FOTHERINGHAM, A. S. *Quantitative geography: perspectives on spatial data analysis*. London: Sage Publications, 2000. 288 p.

GARRARD, G. *Ecocrítica*. Brasília: UnB, 2006. 292 p.

GELMAN, A. *et al.* *Bayesian Data Analysis*. 3. ed. Boca Raton (Estados Unidos): CRC Press, 2013. 675 p.

GETIS, A. A History of the Concept of Spatial Autocorrelation: A Geographer's Perspective. *Geographical Analysis*, v. 40, n. 3, p. 297-309, 2008. DOI 10.1111/j.1538-4632.2008.00727.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1538-4632.2008.00727.x>. Acesso em 15 fev. 2024

GOMES, J. M.; VELHO, L. Abstraction Paradigms for Computer Graphics. *The Visual Computer*, v. 11, p. 227-239, 1995. DOI 10.1007/BF01901041. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01901041>. Acesso em 05 ago. 2023.

GUNN, C. A. *Vacationscape: Designing Tourist Regions*. Austin: Bureau of Business Research, 1972. 208 p.

HASANA, U. *et al.* A bibliometric analysis of ecotourism: A safeguard strategy in protected areas. *Regional Sustainability*, v. 3, n. 1, p. 27-40, 2022. DOI 10.1016/j.regsus.2022.03.001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666660X22000159>. Acesso em 30 jan. 2024.

HAVINGA, I. *et al.* Defining and spatially modelling cultural ecosystem services using crowdsourced data. *Ecosystem Services*, v. 43, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101091>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041620300334>. Acesso em 05 ago. 2024.

HIGGINBOTTOM, K. *et al.* *Current practices in monitoring and reporting on sustainability of visitor use of protected areas*. Gold Coast: CRC for Sustainable Tourism, 2010. 197 p. Disponível em: <https://researchportal.murdoch.edu.au/esploro/outputs/report/Current-Practices-in-Monitoring-and-Reporting/991005541686707891>. Acesso em 17 ago. 2024.

HINTZE, Helio. Ecoturismo na cultura de consumo: Possibilidade de educação ambiental ou espetáculo? *Revista Brasileira de Ecoturismo*, v. 2, n. 1, p. 57-100, 2009. DOI 10.34024/rbecotur.2009.v2.5846. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/ecoturismo/article/view/5846>. Acesso em 28 set. 2022.

ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). *Plano de Manejo Integrado do Fogo (PMIF) do Parque Nacional da Serra do Gandarela - MG*. Brasília: ICMBio, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/planos-de-manejo-integrado-do-fogo/pmif_serradogandarela.pdf. Acesso em 30 out. 2023.

JÄGER, H. *et al.* Assessing conflicts between winter recreational activities and grouse species. *Journal of Environmental Management*, v. 276, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111194>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720311191?via%3Dihub>. Acesso em 29 ago. 2024.

LACERDA, C. de S. *et al.* Sistemas de indicadores de sustentabilidade para a atividade turística e suas contribuições. *Revista Iberoamericana de Turismo*, v. 9, n. 1, p. 114-132, 2019. DOI [10.28998/10.28998/RITURritur.V9.N1.A6686pp.114-1326686](https://doi.org/10.28998/10.28998/RITURritur.V9.N1.A6686pp.114-1326686). Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/ritur/article/view/6686>. Acesso em 17 set. 2022.

LAYRARGUES, P. P. A função social do ecoturismo. *Boletim Técnico do SENAC*, v. 30, n. 1, p. 39-45, 2004. DOI [10.26849/bts.v30i1.508](https://doi.org/10.26849/bts.v30i1.508). Disponível em: <https://www.bts.senac.br/bts/article/view/508>. Acesso em 01 nov. 2024.

LAMOUNIER, W. L. *et al.* A influência da litologia na distribuição da cobertura vegetal e no uso do solo na Serra do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero - MG. *Revista Geografias*, v. 6, p. 152-165, 2010. DOI [10.35699/2237-549X.13289](https://doi.org/10.35699/2237-549X.13289). Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13289>. Acesso em 13 mar. 2023.

LEUNG, Y.-F.; MARION, J. L. Recreation impacts and management in wilderness: a state-of-knowledge review. In: COLE, D. N. *et al.* (Ed.). *Wilderness science in a time of change conference*. [S.l.]: USDA, 2000. p. 23-48. 381 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Bill-Borrie/publication/299484664_Wilderness_science_in_a_time_of_change_conference_Volume_5_Wilderness_ecosystems_threats_and_management_Missoula_Montana_USA_23-27_May_1999/links/578fc5b808ae108aa03af0e3/Wilderness-science-in-a-time-of-change-conference-Volume-5-Wilderness-ecosystems-threats-and-management-Missoula-Montana-USA-23-27-May-1999.pdf. Acesso em 03 mai. 2023.

LINDBERG, K.; HAWKINS, D. E. *Ecoturismo: guia para planejamento e gestão*. São Paulo: SENAC, 1996. 296 p.

LONGLEY, P. A. *et al.* *Geographic Information Science and Systems*. 4 ed. New York: Wiley, 2015. 496 p.

LU, W.; WONG, D. W. S. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers & Geosciences*, v. 34, n. 9, p. 1044-1055, 2008. DOI [10.1016/j.cageo.2007.07.010](https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.07.010). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098300408000721>. Acesso em 18 jul. 2023.

LUCENA, W. M. *História do Montanhismo no Rio de Janeiro: dos primórdios aos anos 1940*. Rio de Janeiro: Montanhar, 2006. 264 p.

MACHADO, A. A.; CAMBOIM, S. P. Mapeamento colaborativo como fonte de dados para o planejamento urbano: desafios e potencialidades. *URBE: Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 11, e20180142, 2019. DOI 10.1590/2175-3369.011.e20180142. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/d6YmTQCPHhf5T5hsGVvrqHD/>. Acesso em 15 jun. 2023.

MAGLIO, I. C. *A descentralização da gestão ambiental no Brasil: o papel dos órgãos estaduais e as relações com o poder local, 1990/1999*. 270 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-01072008-145252/publico/IvanMaglio.pdf>. Acesso em 02 jan. 2023.

MAGRINI, A. Política e gestão ambiental: conceitos e instrumentos. *Revista Brasileira de Energia*, v. 8, n. 2, p. 135-147, 2001. Disponível em: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/151/134>. Acesso em 30 nov. 2023.

MANNING, R. E. *Managing outdoor recreation: case studies in the national parks*. 2 ed. Wallingford: CABI Publishing, 2012. 243 p.

MAPBIOMAS. *Coleção 7.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil*. 2022. Disponível em: <http://www.mapbiomas.org>. Acesso em: 13 jul. 2023.

MARENT, B. R. *et al.* Conflitos ambientais na Serra do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero-MG: mineração x preservação. *Revista Geografias*, v. 7, n. 1, p. 99-113, 2011. DOI 10.35699/2237-549X..13311. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13311>. Acesso em 18 mai. 2023.

MEDINA, A. I. de M.; SAADI, A. *PROJETO APA SUL RMBH: geomorfologia, mapa geomorfológico, escala 1:50.000*. Belo Horizonte: CPRM/EMBRAPA/SEMAD, 2005. 54 p.

MEIJLES, E. W. *et al.* Analysing hiker movement patterns using GPS data: Implications for park management. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 47, p. 44–57, 2014. DOI 10.1016/j.compenvurbsys.2013.07.005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0198971513000665>. Acesso em 12 fev. 2023.

MENDES JÚNIOR, J. N.; FERREIRA, M. C. Afinal, o que é ecoturismo? *Geografia*, v. 5, n. 2, p. 369-381, 2010. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/4841>. Acesso em 03 mar. 2023.

MENEZES, P. M. L.; FERNANDES, M. C. *Roteiro de cartografia*. São Paulo: Oficina de Texto, 2013. 288 p.

MINAS GERAIS. IEF - Instituto Estadual de Florestas. *Inventário florestal de Minas Gerais*: Mapeamento da cobertura vegetal. 2009. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/florestas/inventario-florestal-mg>. Acesso em: 13 jul. 2023.

_____. Deliberação Normativa Copam nº. 217, de 06 de dezembro de 2017. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor. *Conselho Estadual de Política Ambiental*. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45558>.

MITCHELL, R. *Web Scraping with Python: Collecting Data from the Modern Web*. 2 ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2018. 306 p.

MONZ, C. A *et al.* Assessment and monitoring of recreation impacts and resource conditions on mountain summits: Examples from the Northern Forest, USA. *Mountain Research and Development*, v. 30(4), p. 332–343, 2010. DOI <http://dx.doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-09-00078.1>. Disponível em: <https://bioone.org/journals/mountain-research-and-development/volume-30/issue-4/MRD-JOURNAL-D-09-00078.1/Assessment-and-Monitoring-of-Recreation-Impacts-and-Resource-Conditions-on/10.1659/MRD-JOURNAL-D-09-00078.1.full>. Acesso em 23 ago. 2024.

NEIMAN, Z.; MENDONÇA, R. Ecoturismo: discurso, desejo e realidade. *Turismo em Análise*, v. 11, n. 2, p. 98-110, 2000. DOI 10.11606/issn.1984-4867.v11i2p98-110. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rta/article/view/63521>. Acesso em 13 jan. 2023.

_____.; SARACENI, R. F.; GEERDINK, S. Levantamento quali-quantitativo da produção científica sobre Ecoturismo no Brasil. *Revista Brasileira de Ecoturismo*, v. 3, n. 3, p. 528-555, 2010. DOI 10.34024/rbecotur.2010.v3.5899. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/ecoturismo/article/view/5899>. Acesso em 22 ago. 2023.

NEWSOME, D., *et al.* *Natural area tourism: Ecology, impacts and management*. Bristol: Channel View Publications. 504 p.

NORMAN, P.; PICKERING, C. M. Using volunteered geographic information to assess park visitation: Comparing three on-line platforms. *Applied Geography*, v. 89, p. 163-172, 2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.11.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622817306409>. Acesso em 20 ago. 2024.

O'SULLIVAN, D.; UNWIN, D. J. *Geographic Information Analysis*. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010. 432 p.

OMENA, M. T. R. N. de; HANAZAKI, N. How do Brazilian National Park managers evaluate the relationship between conservation and public use? *Environmental Science and Policy*, v. 131, p. 1-9, 2022. DOI 10.1016/j.envsci.2022.01.009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1462901122000156#:~:text=T>

he%20NP%20managers%20considered%20that,and%20the%20numbers%20of%20recreational. Acesso em 30 out. 2023.

ONU. Organização das Nações Unidas. *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf/>. Acesso em: 21 ago. 2023.

ORAMS, M. B. Towards a more desirable form of ecotourism. *Tourism Management*, v. 16, n. 1, p. 3-8, 1995. DOI 10.1016/0261-5177(94)00001-Q. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/026151779400001Q>. Acesso em 04 fev. 2023.

ORDUZ-ROJAS, C. M. *et al.* Participação, Resolução Negociada de Conflitos e Neoextrativismo no Brasil: o Parque Nacional da Serra do Gandarela (MG/Brasil). *Revista de Estudios Andaluces*, v. 1, p. 121-146, 2018. DOI 10.12795/rea.2018.i36.06. Disponível em: <https://revistascientificas.us.es/index.php/REA/article/view/4846>. Acesso em 20 dez. 2023.

PILÓ, L. B. *et al.* Geoespeleologia em rochas ferríferas: Cenário atual e conservação. In: CARMO, F. F.; KAMINO, L. H. Y. (Ed.). *Geossistemas Ferruginosos do Brasil*. Belo Horizonte: 3i Editora, 2015. p. 125–148. 552 p. Disponível em: <https://institutopristino.org.br/wp-content/uploads/2020/04/Geossistemas-ferruginoso-s-no-Brasil-CD.pdf>. Acesso em 10 abr. 2023.

PIRES, P. dos S. A Dimensão Conceitual do Ecoturismo. *Turismo - Visão e Ação*, v. 1, n. 1, p. 75-91, 1998. DOI 10.14210/rtva.v1n1.p75-92. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/rtva/article/view/1392>. Acesso em 08 out. 2022.

QGIS. *Line Density*. Disponível em: https://docs.qgis.org/3.34/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/interpolation.html#line-density. Acesso em: 12 nov. 2024.

R CORE TEAM. *RSelenium*: R Bindings for 'Selenium WebDriver'. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/RSelenium/index.html>. Acesso em: 2 mar. 2025.

SANTOS, D. J. *et al.* Perfil Geoecológico do Parque Nacional da Serra do Gandarela, Minas Gerais, Brasil. *Sociedade & Natureza*, v. 33, e57012, 2021. DOI 10.14393/SN-v33-2021-57012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/mqPxGWnhQtYBtJ9zjX4wHJC/abstract/?lang=pt>. Acesso em 15 ago. 2023.

SANTOS, T. *et al.* Recreational activities in urban parks: Spatial interactions among users. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, v. 15, p. 1–9, 2016. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.jort.2016.06.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213078016300251?via%3Dihub>. Acesso em 20 set. 2024.

SCOLFORO, J. R. S. *et al.* *Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Minas Gerais – Zoneamento e cenários exploratórios*. Lavras: Editora UFLA, 2008. 136 p.

SCOTT, D. W. *Multivariate density estimation: theory, practice, and visualization*. New York: Wiley-Interscience, 1992. 336 p.

SILVA, C. C. da. Wikiloc: rede reúne trilhas para quem curte aventuras ao redor do mundo. *Tecmundo*, 10 fev. 2019. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/software/138422-wikiloc-rede-reune-trilhas-curte-aventuras-redor-mundo.htm>. Acesso em: 25 ago. 2021.

SILVA, E. H. P. da *et al.* O uso público no Parque Nacional da Serra do Gandarela: diagnóstico, desafios e potencialidades. *Revista Geografias*, v. 18, n. 2, p. 108–127, 2022. DOI 10.35699/2237-549X.2022.45200. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/45200>. Acesso em 10 set. 2024.

SILVA, P. L. *et al.* Estudo sobre infraestrutura de dados espaciais para embasar a proposta de desenvolvimento de uma IDE para a Universidade Federal de Viçosa. Revista Eletrônica: *Tempo - Técnica - Território*, v. 9, n. 2, p. 07-27, 2018. DOI 10.26512/ciga.v9i2.15384. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/ciga/article/view/15384>. Acesso em 10 out. 2023.

SILVERMAN, B. W. *Density estimation for statistics and data analysis*. London: Chapman and Hall, 1986. 175 p.

SMITH, B.; MARK, D. Ontology and Geographic Kinds. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL DATA HANDLING*, 1998, Vancouver. *Proceedings [...]*. Vancouver: [s.n.], 1998. p. 308-320. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/gilberto/references/SmithMark_SDH1998.pdf. Acesso em 03 dez. 2022.

SMITH, S. L. J. *Dictionary of Concepts in Recreation and Leisure Studies*. New York: Greenwood Press, 1990. 384 p.

SOUZA, T. B. *et al.* Tourism Attractiveness Index of Protected Areas of Brazil. *In: CUNHA, A. A. et al. (Ed.). Tourism and protected areas in Brazil: challenges and perspectives*. New York: Nova Science Publishers, 2018. p. 67-98. 330 p.

STACK OVERFLOW. *How to scrape data without overloading the server?* Disponível em: <https://stackoverflow.com/questions/24353777/how-to-scrape-data-without-overloading-the-server>. Acesso em: 2 mar. 2025.

STOYAN, D. *et al.* *Stochastic geometry and its applications*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1995. 456 p.

TOBLER, W. R. A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, v. 46, p. 234-240, 1970. DOI 10.2307/143141. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/143141>. Acesso em 08 nov. 2024.

_____. Measuring Spatial Resolution. *In*: LAND RESOURCES INFORMATION SYSTEMS CONFERENCE, 1987, Beijing. *Proceedings [...]*. Beijing: [s.n.], 1987. p. 12-16. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Waldo-Tobler/publication/291877360_Measuring_spatial_resolution/links/595ef94ba6fdccc9b17fe8ee/Measuring-spatial-resolution.pdf. Acesso em 08 nov. 2024.

_____. Resolution, Resampling, and All That. *In*: MOUNSEY, H.; TOMLINSON, R. (Ed.). *Building Data Bases for Global Science*. London: Taylor and Francis, 1988. p. 129-137. 419 p.

TÖRN, A. *et al.* Comparing the impacts of hiking, skiing and horse riding on trail and vegetation in different types of forest. *Journal of Environmental Management*, v. 90(3), p. 1427–1434, 2009. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.08.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479708002533?via%3DiHub>. Acesso em 29 ago. 2024.

TRILHAS PERDIDAS. *Mapeamento de atrativos naturais*: . 2023. Disponível em: <https://www.trilhasperdidas.com.br/files/mapeamento/Mapeamento%20de%20Atrativos%20Naturais%20-%20Metodologia%20e%20Dicionário%20de%20Atributos.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2024.

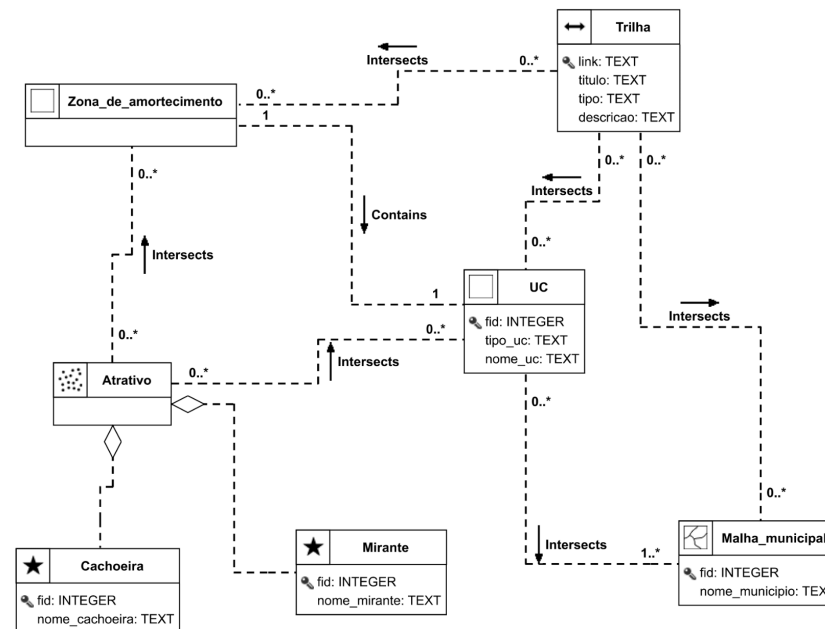
WEITKAMP, G. *et al.* Measuring visible space to assess landscape openness. *Landscape Research*, v. 36, n. 2, p. 127–150, 2011. DOI 10.1080/01426397.2010.549219. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01426397.2010.549219>. Acesso em 15 ago. 2023.

WOOD, S. *et al.* Using social media to quantify nature-based tourism and recreation. *Scientific Reports*, v. 3, 2013. DOI <https://doi.org/10.1038/srep02976>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep02976>. Acesso em 05 ago. 2024.

WIKILOC. *Pico do Canjerana, Catas Altas, Caracá*. 2015. Disponível em: <https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/pico-do-canjerana-catas-altas-caraca-10313776>. Acesso em: 15 nov. 2024.

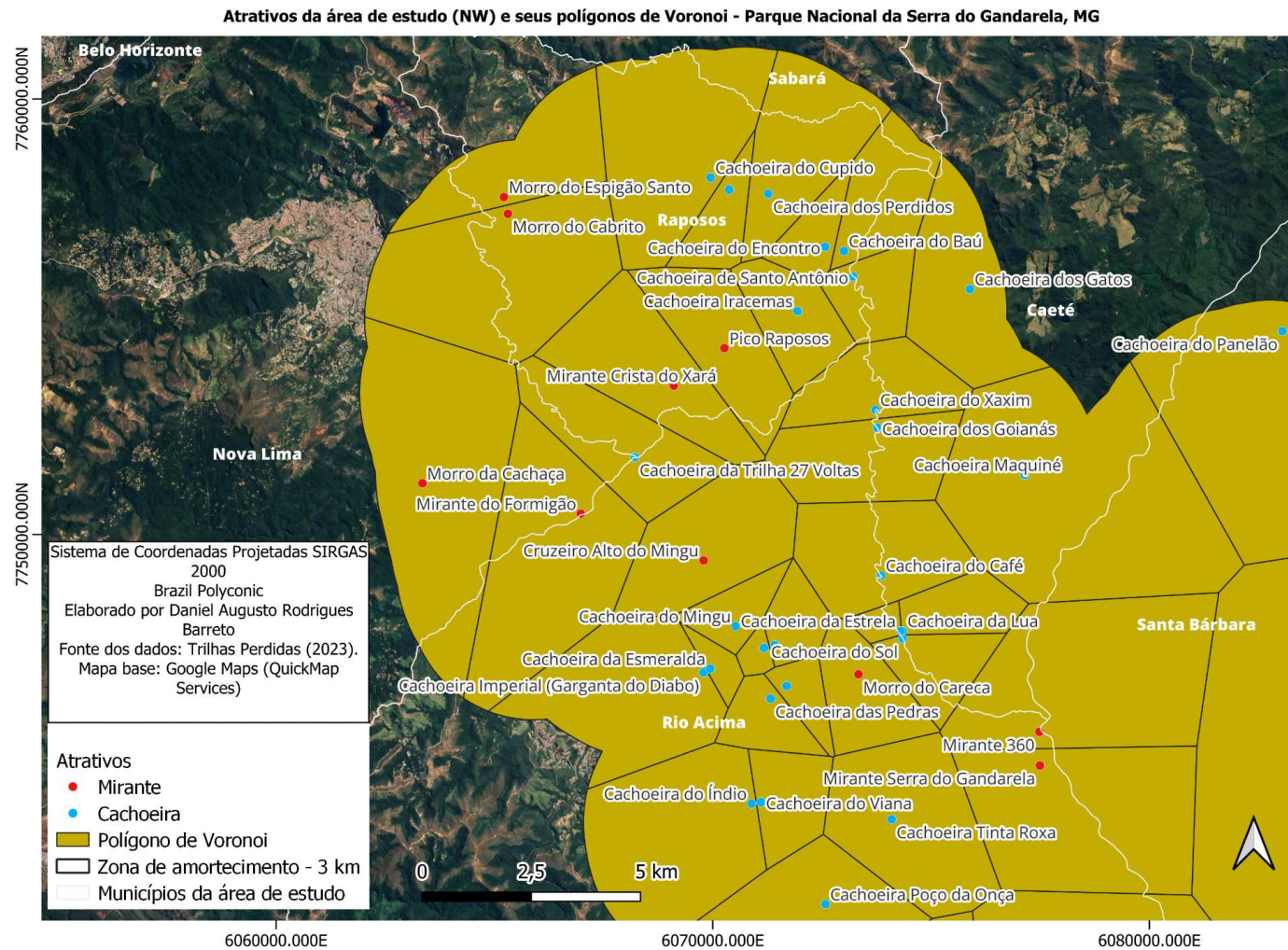
ANEXOS

Anexo A - Diagrama de classes



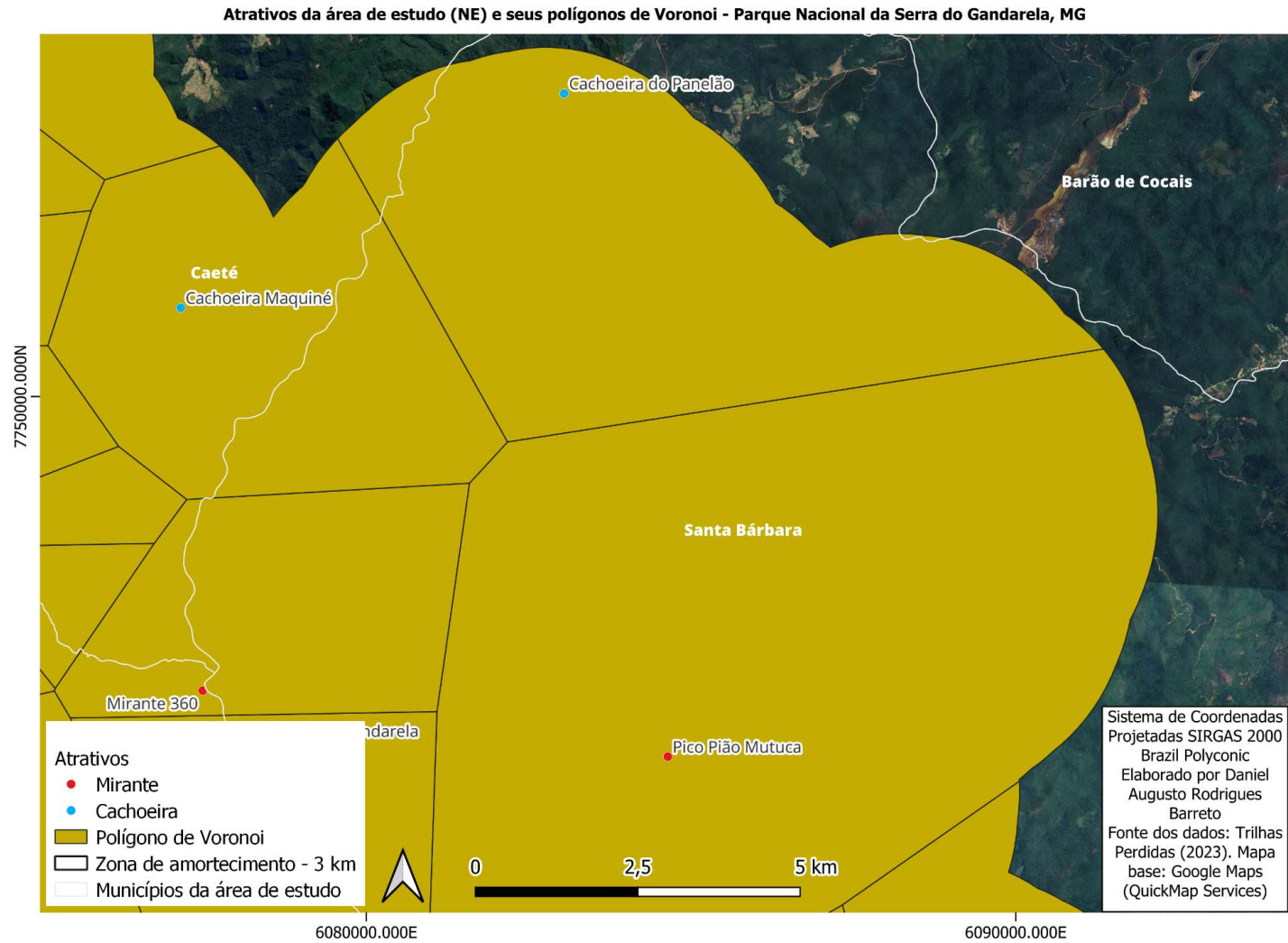
Fonte: elaborado pelo autor.

Anexo B - Atrativos da porção noroeste da área de estudo e seus polígonos de Voronoi



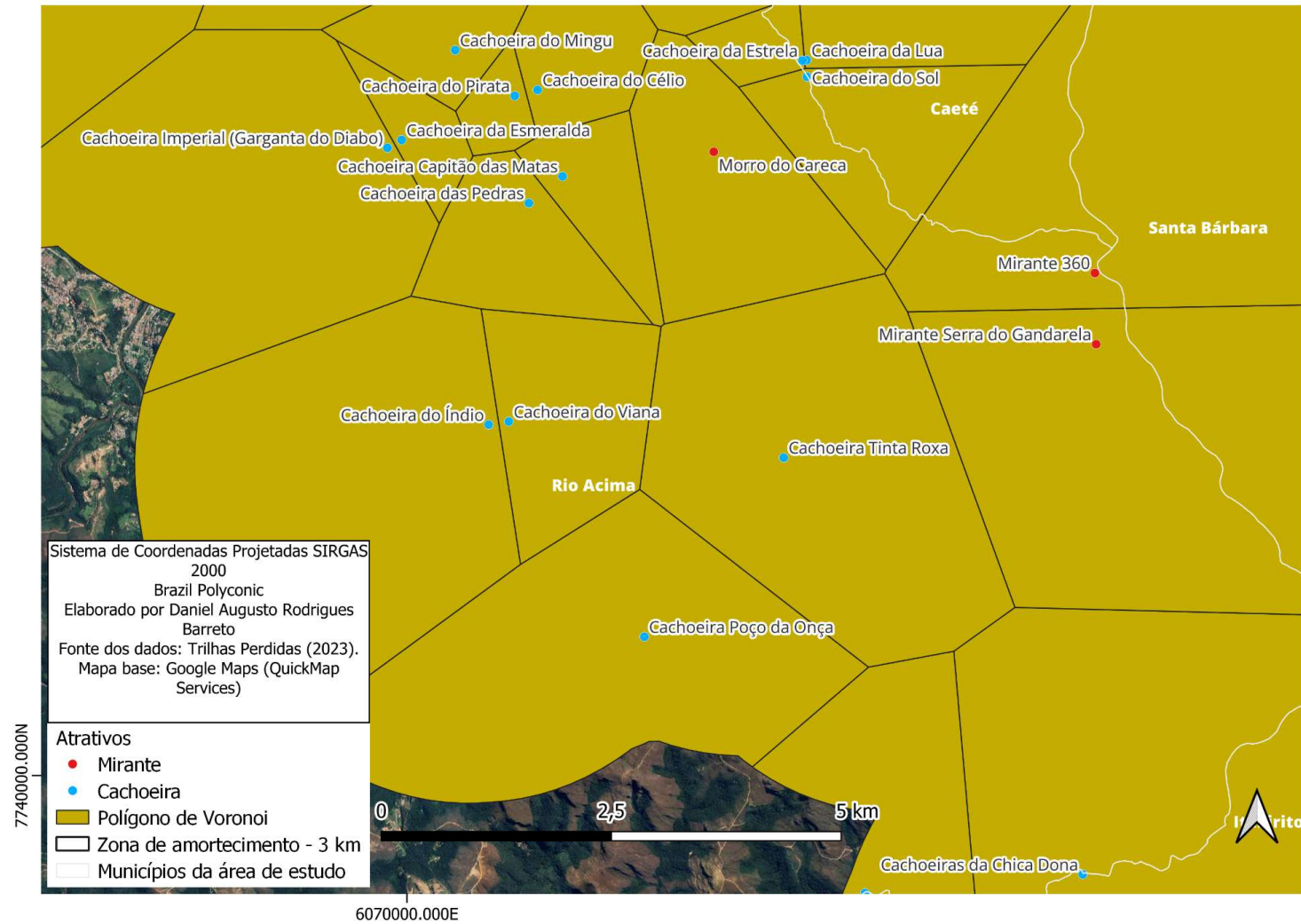
Fonte: elaborado pelo autor.

Anexo C - Atrativos da porção nordeste da área de estudo e seus polígonos de Voronoi



Anexo D - Atrativos da porção sudoeste da área de estudo e seus polígonos de Voronoi

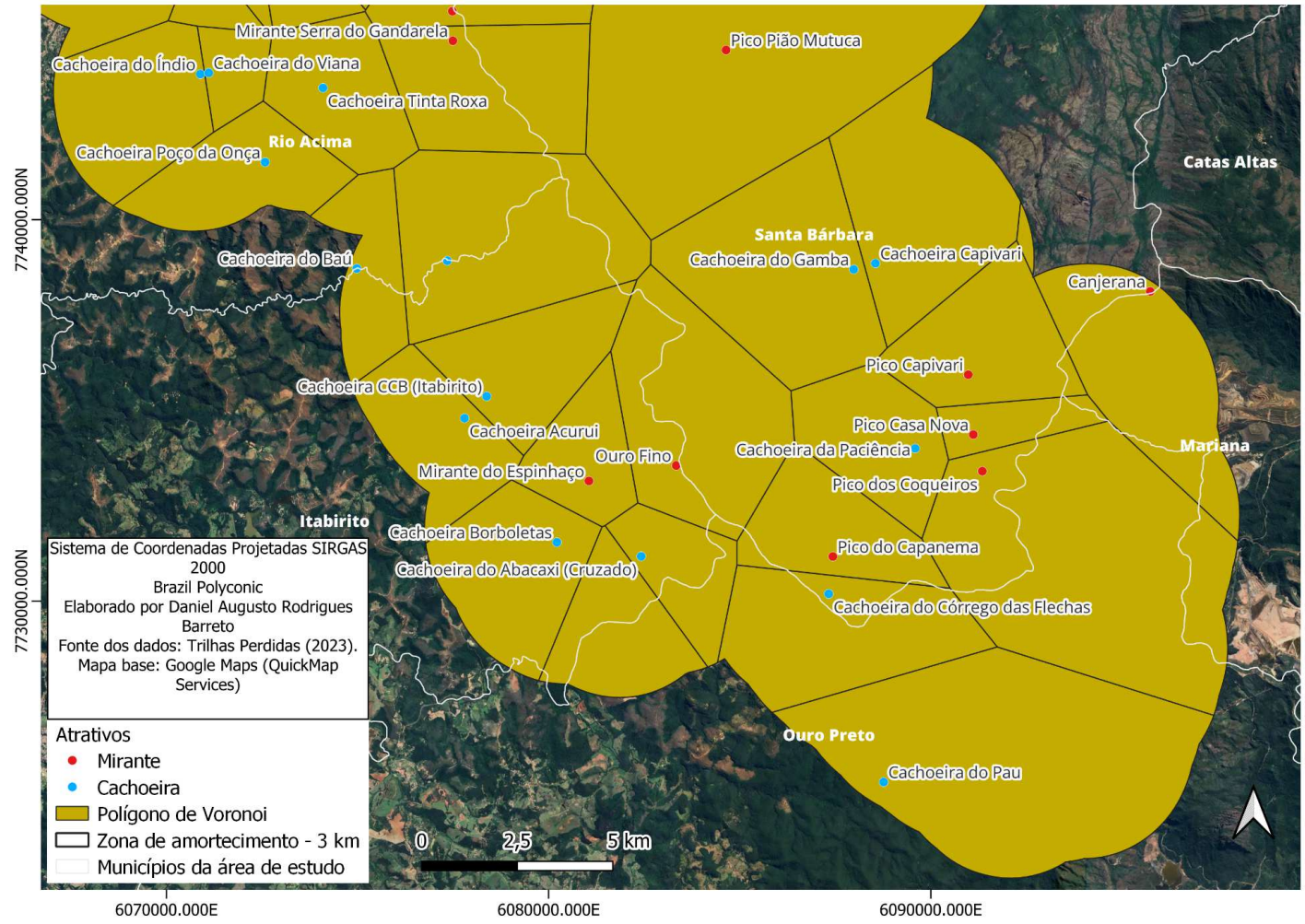
Atrativos da área de estudo (SW) e seus polígonos de Voronoi - Parque Nacional da Serra do Gandarela, MG



Fonte: elaborado pelo autor.

Anexo E - Atrativos da porção sudeste da área de estudo e seus polígonos de Voronoi

Atrativos da área de estudo (SE) e seus polígonos de Voronoi - Parque Nacional da Serra do Gandarela, MG



Fonte: elaborado pelo autor.

Anexo F - Santa Bárbara: Estatísticas descritivas do uso e cobertura do solo na área de estudo

Classe de uso e cobertura	Área da classe	Percentual da área do município (no PNSGa)	Percentual com relação à área total da classe	Percentual com relação à área de estudo
Formação florestal	17622,85	66,11	50,53	23,50
Silvicultura	1064,80	3,99	66,76	1,42
Formação campestre	2404,12	9,02	11,59	3,21
Formação savânica	132,23	0,50	25,09	0,18
Mosaico de usos	619,61	2,32	17,79	0,83
Café	14,49	0,05	85,86	0,02
Pastagem	179,12	0,67	20,73	0,24
Afloramento rochoso	3922,46	14,71	43,75	5,23
Outras lavouras perenes	0,68	0,00	100,00	0,00
Outras áreas não vegetadas	3,24	0,01	2,47	0,00
Mineração	674,69	2,53	25,30	0,90
Outras lavouras temporárias	1,36	0,01	100,00	0,00
Campo alagado e área pantanosa	11,08	0,04	0,12	0,01
Rio, lago	7,59	0,03	13,41	0,01
Total	26658,32	100,00	-	35,55

Fonte dos dados: MapBiomas (2022). Elaborado pelo autor.

Anexo G - Rio Acima: Estatísticas descritivas do uso e cobertura do solo na área de estudo

Classe de uso e cobertura	Área da classe	Percentual da área do município (no PNSGa)	Percentual com relação à área total da classe	Percentual com relação à área de estudo
Formação florestal	4413,45	33,03	12,65	5,89
Mosaico de usos	856,10	6,41	24,58	1,14
Formação campestre	6909,96	51,72	33,31	9,21
Formação savânica	113,86	0,85	21,61	0,15
Outras áreas não vegetadas	37,81	0,28	28,82	0,05
Afloramento rochoso	590,15	4,42	6,58	0,79
Pastagem	265,61	1,99	30,74	0,35
Rio, lago	17,97	0,13	31,75	0,02
Mineração	24,61	0,18	0,92	0,03
Silvicultura	16,52	0,12	1,04	0,02
Área urbanizada	115,48	0,86	11,30	0,15
Total	13361,52	100,00	-	17,82

Fonte dos dados: MapBiomias (2022). Elaborado pelo autor.

Anexo H - Itabirito: Estatísticas descritivas do uso e cobertura do solo na área de estudo

Classe de uso e cobertura	Área da classe	Percentual da área do município (no PNSGa)	Percentual com relação à área total da classe	Percentual com relação à área de estudo
Afloramento rochoso	1345,82	17,59	15,01	1,79
Formação campestre	3728,77	48,74	17,98	4,97
Outras áreas não vegetadas	18,83	0,25	14,35	0,03
Formação florestal	1950,99	25,50	5,59	2,60
Mosaico de usos	284,91	3,72	8,18	0,38
Formação savânica	14,48	0,19	2,75	0,02
Pastagem	137,77	1,80	15,94	0,18
Silvicultura	25,13	0,33	1,58	0,03
Campo alagado e área pantanosa	5,96	0,08	0,07	0,01
Mineração	137,17	1,79	5,14	0,18
Total	7649,83	100,00	-	10,20

Fonte dos dados: MapBiomias (2022). Elaborado pelo autor

Anexo I - Ouro Preto: Estatísticas descritivas do uso e cobertura do solo na área de estudo

Classe de uso e cobertura	Área da classe	Percentual da área do município (no PNSGa)	Percentual com relação à área total da classe	Percentual com relação à área de estudo
Afloramento rochoso	2665,63	26,05	29,73	3,55
Formação campestre	2600,31	25,41	12,54	3,47
Formação florestal	3211,82	31,38	9,21	4,28
Formação savânica	68,65	0,67	13,03	0,09
Mineração	1131,69	11,06	42,43	1,51
Área urbanizada	157,08	1,53	15,36	0,21
Mosaico de usos	308,02	3,01	8,84	0,41
Outras áreas não vegetadas	18,93	0,19	14,43	0,03
Silvicultura	21,06	0,21	1,32	0,03
Café	0,94	0,01	5,56	0,00
Pastagem	30,70	0,30	3,55	0,04
Campo alagado e área pantanosa	19,36	0,19	52,20	0,03
Total	10234,19	100,00	-	13,65

Fonte dos dados: MapBiomias (2022). Elaborado pelo autor.

Anexo J - Raposos: Estatísticas descritivas do uso e cobertura do solo na área de estudo

Classe de uso e cobertura	Área da classe	Percentual da área do município (no PNSGa)	Percentual com relação à área total da classe	Percentual com relação à área de estudo
Formação florestal	2276,44	35,75	6,53	3,04
Formação savânica	125,88	1,98	23,89	0,17
Mosaico de usos	660,92	10,38	18,98	0,88
Formação campestre	2956,02	46,43	14,25	3,94
Pastagem	99,48	1,56	11,51	0,13
Área urbanizada	197,43	3,10	19,31	0,26
Outras áreas não vegetadas	36,28	0,57	27,65	0,05
Silvicultura	8,18	0,13	0,51	0,01
Afloramento rochoso	1,53	0,02	0,02	0,00
Café	1,45	0,02	8,58	0,00
Campo alagado e área pantanosa	0,68	0,01	1,84	0,00
Rio, lago	2,56	0,04	4,52	0,00
Total	6366,84	100,00	-	8,49

Fonte dos dados: MapBiomass (2022). Elaborado pelo autor.

Anexo K - Caeté: Estatísticas descritivas do uso e cobertura do solo na área de estudo

Classe de uso e cobertura	Área da classe	Percentual da área do município (no PNSGa)	Percentual com relação à área total da classe	Percentual com relação à área de estudo
Formação campestre	917,96	18,37	4,43	1,22
Formação florestal	3186,36	63,75	9,14	4,25
Outras áreas não vegetadas	1,36	0,03	1,04	0,00
Mosaico de usos	93,48	1,87	2,68	0,12
Silvicultura	451,91	9,04	28,33	0,60
Pastagem	11,33	0,23	1,31	0,02
Formação savânica	29,57	0,59	5,61	0,04
Mineração	36,13	0,72	1,35	0,05
Afloramento rochoso	270,22	5,41	3,01	0,36
Total	4998,33	100,00	-	6,67

Fonte dos dados: MapBiomas (2022). Elaborado pelo autor.

Anexo L - Nova Lima: Estatísticas descritivas do uso e cobertura do solo na área de estudo

Classe de uso e cobertura	Área da classe	Percentual da área do município (no PNSGa)	Percentual com relação à área total da classe	Percentual com relação à área de estudo
Formação campestre	786,88	23,44	3,79	1,05
Mosaico de usos	640,50	19,08	18,39	0,85
Rio, lago	28,47	0,85	50,32	0,04
Outras áreas não vegetadas	11,08	0,33	8,45	0,01
Formação florestal	1417,32	42,23	4,06	1,89
Formação savânica	18,41	0,55	3,49	0,02
Área urbanizada	313,30	9,33	30,65	0,42
Pastagem	140,07	4,17	16,21	0,19
Silvicultura	0,51	0,02	0,03	0,00
Total	3356,55	100,00	-	4,48

Fonte dos dados: MapBiomias (2022). Elaborado pelo autor.

Anexo M - Mariana: Estatísticas descritivas do uso e cobertura do solo na área de estudo

Classe de uso e cobertura	Área da classe	Percentual da área do município (no PNSGa)	Percentual com relação à área total da classe	Percentual com relação à área de estudo
Afloramento rochoso	170,82	9,35	1,91	0,23
Formação campestre	165,61	9,07	0,80	0,22
Formação florestal	569,70	31,20	1,63	0,76
Mosaico de usos	7,08	0,39	0,20	0,01
Formação savânica	9,30	0,51	1,76	0,01
Mineração	662,70	36,29	24,85	0,88
Silvicultura	1,71	0,09	0,11	0,00
Área urbanizada	239,07	13,09	23,38	0,32
Outras áreas não vegetadas	0,17	0,01	0,13	0,00
Total	1826,16	100,00	-	2,44

Fonte dos dados: MapBiomas (2022). Elaborado pelo autor.

Anexo N - Sabará: Estatísticas descritivas do uso e cobertura do solo na área de estudo

Classe de uso e cobertura	Área da classe	Percentual da área do município (no PNSGa)	Percentual com relação à área total da classe	Percentual com relação à área de estudo
Formação florestal	229,20	42,68	0,66	0,31
Formação savânica	14,58	2,71	2,77	0,02
Formação campestre	272,84	50,81	1,32	0,36
Mosaico de usos	11,76	2,19	0,34	0,02
Outras áreas não vegetadas	3,49	0,65	2,66	0,00
Silvicultura	5,11	0,95	30,30	0,01
Total	536,98	100,00	-	0,72

Fonte dos dados: MapBiomas (2022). Elaborado pelo autor.