

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

CURSO DE MESTRADO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES

**Padrões espaciais de sinistros de trânsito envolvendo
ônibus em Belo Horizonte (MG)**

Júlia Pereira Campos

Belo Horizonte

2026

Júlia Pereira Campos

**Padrões espaciais de sinistros de trânsito envolvendo
ônibus em Belo Horizonte**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito à obtenção do título de Mestre em Geotecnia e Transportes.

Área de concentração: Transportes

Orientador(a): Profa. Dra. Bárbara Abreu Matos

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2026

C198p

Campos, Júlia Pereira.

Padrões espaciais de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte [recurso eletrônico] / Júlia Pereira Campos. - 2026. 1 recurso online (136 f.: il., color.): pdf.

Orientadora: Bárbara Abreu Matos.

Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Inclui Bibliografia.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Transportes – Teses. 2. - Ônibus – Teses. 3. Segurança de trânsito – Teses. 4. Análise Espacial (Estatística) - Teses. I. Matos, Bárbara Abreu. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 656 (043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
COLEGIADO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA E TRANSPORTES
FOLHA DE APROVAÇÃO

Padrões espaciais de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte (MG)

JÚLIA PEREIRA CAMPOS

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOTECNIA E TRANSPORTES, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOTECNIA E TRANSPORTES, área de concentração TRANSPORTES. Aprovada em 24 de fevereiro de 2026, pela banca constituída pelos membros:

Profa. Bárbara Abreu Matos - Orientadora (UFOP)
Profa. Christine Tessele Nodari (UFRGS)
Prof. Agmar Bento Teodoro (CEFET-MG)
Luis Otávio Rocha Castilho (PBH)

Belo Horizonte, 24 de fevereiro de 2026.



Documento assinado eletronicamente por **Luís Otávio Rocha Castilho, Usuário Externo**, em 24/02/2026, às 15:41, 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 **Bárbara Abreu Matos, Usuário Externo**, em 24/02/2026, às 15:45, 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 **Christine Tessele Nodari, Usuária Externa**, em 24/02/2026, às 16:47, 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 **Agmar Bento Teodoro, Usuário Externo**, em 01/03/2026, às 15:54, 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 4951589 e o código CRC 74E5531F.

Referência: Processo nº 23072.206765/2026-51

SEI nº 4951589

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos vão à minha família, pelo constante apoio e incentivo que sempre me motivaram a estudar e perseguir meus sonhos. Estendo minha gratidão aos amigos, cuja presença e suporte foram essenciais ao longo desta trajetória. À minha orientadora, agradeço pela dedicação, orientação, paciência e pelos ensinamentos que enriqueceram esta jornada. Reconheço, ainda, a Universidade Federal de Minas Gerais pela oportunidade concedido. Por fim, registro meu agradecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), cujo apoio e fomento à pesquisa foram fundamentais para a concretização desta dissertação.

RESUMO

Os sinistros de trânsito representam um grave problema de saúde pública e segurança viária nas cidades. Considerando a importância do transporte coletivo por ônibus para a mobilidade urbana, torna-se fundamental investigar a segurança desse modo de transporte, especialmente em centros urbanos de grande porte. Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise dos padrões espaciais dos sinistros de trânsito envolvendo veículos do tipo ônibus e micro-ônibus em Belo Horizonte (MG), no intuito de identificar padrões de distribuição espacial desses eventos e suas possíveis correlações com características urbanas e de infraestrutura viária. A metodologia adotada envolveu o tratamento e compilação de bases de dados provenientes de registros oficiais, seguido da aplicação de técnicas de estatística descritiva e de análise espacial, incluindo medidas de autocorrelação global e local com o Índice de Moran e LISA. Com base nas análises realizadas, foram identificadas zonas críticas de sinistros envolvendo ônibus, com destaque para o Hipercentro, a região noroeste do Barreiro, o entorno da Estação São Gabriel e o cruzamento entre o Anel Rodoviário e a Avenida Dom Pedro II. Observou-se que áreas com forte diversidade funcional, alta densidade empregatícia, presença de corredores estruturais e proximidade a polos geradores de viagens concentram maiores densidades de sinistros, em consonância com a literatura. As análises de autocorrelação espacial (Moran e LISA) confirmaram padrões de aglomeração nas regiões centrais e ao longo de importantes eixos viários, indicando a influência do ambiente construído, da acessibilidade e da integração modal nesses eventos. Esses achados oferecem subsídios técnicos para o planejamento urbano e para políticas públicas de segurança viária voltadas ao transporte coletivo, permitindo direcionar intervenções em áreas estruturalmente mais vulneráveis.

Palavras-Chaves: ônibus; sinistros de trânsito; análise espacial.

ABSTRACT

Traffic accidents represent a serious public health and road safety issue in urban areas. Considering the importance of bus-based public transportation for urban mobility, it is essential to investigate the safety of this mode of transport, particularly in large metropolitan centers. This study aims to conduct an analysis of the spatial patterns of traffic accidents involving buses and minibuses in Belo Horizonte (MG), with the purpose of identifying spatial distribution patterns of these events and their possible correlations with urban characteristics and road infrastructure. The methodology adopted involved processing and compiling databases from official records, followed by the application of descriptive statistical techniques and spatial analysis, including measures of global and local autocorrelation using Moran's I and LISA. Based on the analyses carried out, critical zones of bus-related accidents were identified, notably in the Hypercenter, the northwestern region of Barreiro, the surroundings of São Gabriel Station, and the intersection between the Ring Road and Dom Pedro II Avenue. It was observed that areas with strong functional diversity, high employment density, the presence of structural corridors, and proximity to major trip-generating hubs concentrate higher accident densities, in line with the literature. The spatial autocorrelation analyses (Moran's I and LISA) confirmed clustering patterns in central regions and along major road axes, indicating the influence of the built environment, accessibility, and modal integration on these events. These findings provide technical support for urban planning and public policies on road safety focused on public transportation, enabling targeted interventions in structurally more vulnerable areas.

Keywords: buses; traffic crashes; spatial analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Percentual da quantidade de sinistros por tipo de sinistros no Brasil, em Minas Gerias e em Belo Horizonte (2018-2024).....	25
Figura 2- Quantidade de sinistros no Brasil, Minas Gerais e em Belo Horizonte (2018-2023)	27
Figura 3- Passageiros equivalentes transportados por mês (em milhões) (2013-2023). Sistemas de ônibus analisados: Belo Horizonte - MG, Curitiba - PR, Fortaleza - CE, Porto Alegre - RS, Rio de Janeiro - RJ, Salvador - BA e São Paulo - SP (Municipal), Goiânia - GO (Municipal e intermunicipal metropolitano) e Recife - PE (Municipal e intermunicipal metropolitano)	32
Figura 4- Quilometragem produzida mensal (em milhões) (2013-2023). Sistemas de ônibus analisados: Belo Horizonte - MG, Curitiba - PR, Fortaleza - CE, Porto Alegre - RS, Rio de Janeiro - RJ, Salvador - BA e São Paulo - SP (Municipal), Goiânia - GO (Municipal e intermunicipal metropolitano) e Recife - PE (Municipal e intermunicipal metropolitano)	35
Figura 5 - Principais meios de transporte (2017 e 2024) utilizados em cidades com mais de 100 mil habitantes.....	36
Figura 6- Comparativo do percentual de sinistros e da quantidade de óbitos por sinistros por tipo de veículo no Brasil, em Minas Gerias e em Belo Horizonte (2018-2024)	40
Figura 7- Vítimas ocupantes de ônibus por faixa etária – 2023	44
Figura 8- Número de ônibus envolvidos em sinistros de trânsito e frota registrada em Belo Horizonte (2016 a 2023).....	45
Figura 9- Notícia do sinistro de trânsito envolvendo ônibus que caiu no Rio Arrudas em 16 de julho de 1999	45
Figura 10- Estimador de densidade Kernel (EDK)	48
Figura 11- Moran Scatterplot	50
Figura 12- Etapas Metodológicas do Trabalho	55
Figura 13- Mapa de localização do município de Belo Horizonte.....	56

Figura 14- Quantidade de dados de sinistros por ano entre 2016 e 2022 em Belo Horizonte	57
Figura 15- Metodologia utilizada na etapa de fonte e tratamento de dados	62
Figura 16- Descrição do tipo de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	72
Figura 17- Descrição da severidade das vítimas de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	73
Figura 18- Descrição quantidade de veículos envolvidos nos sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	73
Figura 19- Descrição quantidade de pessoas envolvidos nos sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	74
Figura 20- Descrição da classificação viária de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	75
Figura 21- Descrição do tipo de infraestrutura para ônibus de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	75
Figura 22- Descrição do percentual da quantidade de sinistros de trânsito envolvendo ônibus por ano em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	76
Figura 23- Produção quilométrica anual de ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	77
Figura 24- Descrição do percentual da quantidade de sinistros de trânsito envolvendo ônibus por mês em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	77
Figura 25- Descrição do percentual da quantidade de sinistros de trânsito envolvendo ônibus por dia da semana em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	78
Figura 26- Descrição do percentual da quantidade de sinistros de trânsito envolvendo ônibus por faixa horária em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	78
Figura 27- Descrição do percentual da quantidade de sinistros de trânsito envolvendo ônibus por regional em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	79

Figura 28- Descrição do sexo das vítimas de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	80
Figura 29- Descrição da faixa etária das vítimas de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	80
Figura 30- Descrição se a vítima de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022 usava o cinto de segurança.....	81
Figura 31- Descrição se a vítima de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022 estava embriagada.....	81
Figura 32- Descrição se a vítima de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022 era condutora.....	82
Figura 33- Descrição se a vítima de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022 era passageira	82
Figura 34- Descrição se a vítima de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022 era pedestre	82
Figura 35- Descrição se os sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022 foi com ônibus ou micro-ônibus	83
Figura 36- Descrição da categoria dos sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	84
Figura 37- Descrição da situação dos sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	84
Figura 38- Descrição da espécie do veículo envolvido nos sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	85
Figura 39- Distribuição espacial da quantidade de sinistros e vítimas de sinistros envolvendo ônibus por bairro em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	87
Figura 40- Densidade de sinistros e vítimas de sinistros envolvendo ônibus por bairro em Belo Horizonte entre 2016 e 2022	88

Figura 41- Relatório de autocorrelação espacial – I de Moran Global	90
Figura 42- Gráfico de dispersão de Moran resultante da aplicação do LISA para sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte	91
Figura 43- <i>Local Indicator of Spatial Association (LISA)</i>	92
Figura 44- <i>Local Indicator of Spatial Association (LISA)-Low-Low cluster</i>	93
Figura 45- <i>Local Indicator of Spatial Association (LISA)- Low-High cluster</i>	94
Figura 46- <i>Local Indicator of Spatial Association (LISA)- High-Low- cluster</i>	95
Figura 47- <i>Local Indicator of Spatial Association (LISA)-High- High cluster</i>	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tipos de Sinistros e suas definições	24
Tabela 2- Ações recomendadas pela PNATRANS para mitigação de sinistros.....	28
Tabela 3- Indicadores de avaliação da qualidade de transporte coletivo por ônibus	33
Tabela 4- Descrição de quantidade de dados por tipo de dados da tabela Si_Bol.....	58
Tabela 5- Descrição de quantidade de dados por tipo de dados da tabela Si_Env	59
Tabela 6- Descrição de quantidade de dados por tipo de dados da tabela Si_Log.....	60
Tabela 7- Descrição de quantidade de dados por tipo de dados da tabela Si_Veic.....	61
Tabela 8- Detalhamento de código e descrição de faixas de idade dos envolvidos	63
Tabela 9- Detalhamento de código e descrição de classificação viária dos locais de ocorrência dos sinistros	64
Tabela 10- Detalhamento de código e descrição de datas em que ocorreram os sinistros	65
Tabela 11- Detalhamento de código e descrição de dias da semana que ocorreram os sinistros	65
Tabela 12- Detalhamento de código e descrição de faixas horárias de sinistro.	65
Tabela 13- Detalhamento de código e descrição das regionais onde ocorreram os sinistros ..	66
Tabela 14- Tipos de dados considerados para o estudo.....	67
Tabela 15- Relação de quantidade de dados após tratamento	67
Tabela 16- Conceitualização de relacionamentos espaciais	70
Tabela 17- Método de Distância.....	70
Tabela 18- Detalhamento de código e descrição da categoria determinante fator humano	71
Tabela 19- Detalhamento de código e descrição da categoria determinante fator via	74

Tabela 20- Detalhamento de código e descrição da categoria determinante fator ambiente... 76
Tabela 21- Detalhamento de código e descrição da categoria determinante fator humano 79
Tabela 22- Detalhamento de código e descrição da categoria determinante fator veículo 83
Tabela 23- Descrição das regiões <i>High-Low- cluster</i> do (LISA) 96
Tabela 24- Descrição das regiões <i>High- High - cluster</i> do (LISA) 98

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

BH - Belo Horizonte

EDK - Estimativa de Densidade Kernel

GWR - Geographically Weighted Regression

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LISA - Local Indicator of Spatial Association

NTU - Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis

ONU - Organização das Nações Unidas

PNATRANS - Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito

REDS - Registro de Evento de Defesa Social

RENAEST - Registro Nacional de Acidentes e Estatística de Trânsito

RMBH - Região Metropolitana de Belo Horizonte

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	18
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	19
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	19
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	21
2.1	SINISTROS DE TRÂNSITO E SUAS CONSEQUÊNCIAS.....	22
2.2	TRANSPORTE COLETIVO POR ÔNIBUS: IMPORTÂNCIA NA MOBILIDADE URBANA	30
2.3	SINISTROS DE TRÂNSITO ENVOLVENDO ÔNIBUS: CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS	38
2.4	ANÁLISE ESPACIAL DE SINISTROS DE TRÂNSITO	46
2.4.1	<i>Estimativa de Densidade Kernel (EDK).....</i>	<i>47</i>
2.4.2	<i>Índice de Moran Global (I de Moran) e Local Indicator of Spatial Association (LISA).....</i>	<i>48</i>
2.4.3	<i>Ambiente construído e sinistros de trânsito.....</i>	<i>52</i>
3	METODOLOGIA.....	55
3.1	CENÁRIO DE ESTUDO	55
3.2	PERÍODO DE ESTUDO.....	57
3.3	FONTE E TRATAMENTO DE DADOS	57
3.3.1	<i>Tratamento 1: Dados gerais dos envolvidos (si_env).....</i>	<i>62</i>
3.3.2	<i>Tratamento 2: Dados gerais do boletim (si_bol).....</i>	<i>63</i>
3.3.3	<i>Tratamento 3: Dados gerais do veículo (si_veic).....</i>	<i>63</i>
3.3.4	<i>Tratamento 4: Dados gerais dos logradouros do local do acidente (si_log).....</i>	<i>64</i>
3.3.5	<i>Tratamento 5: Compilado e georreferenciamento de dados</i>	<i>64</i>
3.4	ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA E SELEÇÃO DE VARIÁVEIS.....	67
3.5	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	68

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
4.1	ESTATÍSTICA DESCRITIVA	71
4.1.1	<i>Fator via</i>	74
4.1.2	<i>Fator ambiente</i>	76
4.1.3	<i>Fator humano</i>	79
4.1.4	<i>Fator veículo</i>	83
4.2	ANÁLISES ESPACIAIS	85
4.2.1	<i>Estimativa de Densidade Kernel (EDK)</i>	86
4.2.2	<i>Índice de Moran Global (I de Moran) e Local Indicator of Spatial Association (LISA)</i>	89
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
	REFERÊNCIAS	110
	ANEXO A - DESCRIÇÃO DOS DADOS DE OCORRÊNCIAS DE SINISTROS DA PREFEITURA DE BELO HORIZONTE (2024).....	125
	ANEXO B - DETALHAMENTO DE CÓDIGO E DESCRIÇÃO DOS NOMES POPULARES DOS BAIRRO DE BELO HORIZONTE	129

1 INTRODUÇÃO

Sinistros de trânsito constituem um grande problema de saúde pública (Valdez, 2021). No Brasil, representam a segunda principal causa de morte (Batista; Souza; Moreira, 2022). Para mitigar essas ocorrências, uma das alternativas dos governos tem sido incentivar o uso do transporte coletivo¹, para melhorar a segurança (Tamakloe; Hong; Park, 2020) e também reduzir o congestionamento e a poluição dos veículos (Ferraz et al., 2024).

O principal veículo utilizado como meio de transporte coletivo é o ônibus² (Tanure, 2023). Embora esse tipo de transporte seja associado à maior segurança (García et al., 2024), o número e a gravidade de sinistros envolvendo esse tipo de veículo vem aumentando anualmente (Ding et al., 2024). Por isso, reduzir o número de ferimentos graves causados por esses incidentes é uma preocupação para governos e administradores em países em desenvolvimento (Sha et al., 2022).

Embora muitos pesquisadores tenham explorado fatores que afetam a gravidade de sinistros em geral, poucos estudos exploraram incidentes envolvendo ônibus (Tamakloe; Hong; Park, 2020). Logo, apesar da relevância, esses estudos são limitados, e os fatores associados à gravidade desses incidentes precisam ser abordados (Mahikul et al., 2022). Portanto, pesquisas devem ser realizadas para determinar as causas desses incidentes (Suraji; Djakfar; Wicaksono, 2021).

Belo Horizonte sofre com constantes congestionamentos e problemas crônicos de infraestrutura (Pereira et al., 2021). Uma das causas é a histórica adoção de políticas rodoviaristas e de incentivo à aquisição de automóveis, problema comum nas cidades brasileiras (Matos, 2022), consequentemente com reflexos à falta de priorização do transporte coletivo, que vem elevando

¹ De acordo com a Lei Nº 12.587 de 3 de Janeiro de 2012 da Política Nacional de Mobilidade Urbana o transporte coletivo pode ser definido como público ou privado. O transporte público é “o serviço público de transporte de passageiros acessível a toda a população mediante pagamento individualizado, com itinerários e preços fixados pelo poder público”. Enquanto o transporte privado é “o serviço de transporte de passageiros não aberto ao público para a realização de viagens com características operacionais exclusivas para cada linha e demanda”. Nessa dissertação, toda menção a 'transporte coletivo' abarcará ambos tipos de serviço de transporte.

² De acordo com a NBR 10697 da ABNT (2020), o ônibus é definido como “o veículo motorizado de transporte coletivo, com capacidade para mais de 20 passageiros, ainda que, em virtude de adaptações com vista à maior comodidade destes, transporte um número menor”. Enquanto o micro-ônibus é definido como “Veículo motorizado de transporte coletivo, com capacidade para até 20 passageiros”. Nessa dissertação, toda menção a 'ônibus' abarcará ambos tipos de veículos de transporte, de forma a ser coerente com a classificação utilizada nos registros de ocorrência de trânsito em Belo Horizonte que abarca os dois tipos de veículos.

a tarifa e reduzindo a qualidade dos serviços (Tardin et al., 2020). Por consequência, o processo de motorização reflete-se também no aumento dos sinistros de trânsito no país (ITDP, 2021).

Um dos indicadores de qualidade de um sistema de transporte coletivo é a segurança, medida por meio das taxas de sinistros e de violência (Ferraz et al., 2024). Na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) houve uma taxa de 5,7 sinistros para cada 10 mil deslocamentos entre 2012 e 2015 (Oliveira et al., 2022). No entanto, há poucos estudos que mensurem as características desses tipos de sinistros em Belo Horizonte ou nos municípios do entorno. Por isso, a realização de pesquisas desse tipo, como proposta na presente dissertação, se justifica para o desenvolvimento de medidas redutoras de risco desses incidentes, além de contribuir para o estado da arte, aprofundando as discussões sobre a temática e dando luz a importância de se refletir sobre melhorias na oferta do sistema de mobilidade urbana.

Tendo isso em vista, esse estudo traz a seguinte pergunta de pesquisa: Quais são os padrões espaciais dos sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte (MG), e como eles se relacionam com as características urbanas e de infraestrutura viária da cidade? Para tal, são consideradas as hipóteses do estudo: (i) Os sinistros de trânsito envolvendo ônibus apresentam dependência espacial no território de Belo Horizonte; (ii) Existem áreas críticas (*hotspots*) de sinistros concentradas principalmente em regiões com maior intensidade viária e maior fluxo do transporte coletivo.

1.1 Justificativa e relevância

O presente estudo se enquadra na área de mobilidade urbana e segurança viária, abordando um problema relevante para a saúde pública (Valdez, 2021) e para a sustentabilidade do transporte coletivo (Ferraz et al., 2024). Belo Horizonte sofre com o aumento das viagens por veículo individual (Oliveira et al., 2022) e problemas de congestionamento e poluição (Domeneghini, 2024). Por isso, investigar as zonas críticas de sinistros de trânsito envolvendo ônibus e suas autocorrelações espaciais é essencial para propor soluções que melhorem a segurança no transporte público, alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 3 e 11 ONU: Saúde e Bem-Estar e Cidades e Comunidades Sustentáveis.

Apesar da importância do tema, existe uma lacuna significativa na literatura científica sobre os sinistros de trânsito que envolvem ônibus em Belo Horizonte. Estudos anteriores abordam sinistros de trânsito de forma geral ou focam em outros tipos de veículos, mas faltam investigações sobre as características desses incidentes específicos e sua relação com a meio

espacial. Este trabalho pretende preencher essa lacuna ao identificar, de forma técnica e sistemática, as condições espaciais das zonas críticas de sinistros envolvendo esses veículos, contribuindo para um diagnóstico mais fundamentado.

Os resultados desta pesquisa possuem implicações técnicas, científicas e sociais. Tecnicamente, eles podem subsidiar gestores públicos na elaboração de intervenções mais assertivas para reduzir os riscos de sinistros. Cientificamente, o estudo amplia o conhecimento sobre segurança viária em contextos urbanos de países em desenvolvimento. Socialmente, ao focar no transporte coletivo por ônibus, busca-se promover maior segurança para os usuários, incentivando o uso desse meio de transporte. Assim, a pesquisa apoia não apenas os esforços locais, mas também objetivos globais de segurança e sustentabilidade.

1.2 Objetivos do trabalho

Constituiu-se como principal objetivo desse trabalho realizar uma análise dos padrões espaciais dos sinistros de trânsito envolvendo veículos do tipo ônibus e micro-ônibus em Belo Horizonte (MG).

Os objetivos específicos almejados foram:

- (i) Caracterizar os sinistros de trânsito envolvendo ônibus e micro-ônibus em Belo Horizonte, por meio da análise estatística descritiva das variáveis de interesse;
- (ii) Identificar a distribuição espacial e avaliar a presença de dependência espacial na ocorrência dos sinistros;
- (iii) Detectar *clusters* locais e áreas críticas de sinistralidade;
- (iv) Comparar os padrões espaciais identificados com características urbanas e viárias de Belo Horizonte.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação está organizada em seções que apresentam os elementos essenciais da pesquisa. A introdução contextualiza o tema e apresenta os objetivos, enquanto os capítulos seguintes exploram o referencial teórico, a metodologia e os resultados e discussões. E por fim, a conclusão, que resume as contribuições do trabalho e sugere perspectivas futuras.

O referencial teórico está dividido em quatro capítulos complementares. O primeiro aborda os sinistros de trânsito e seus impactos. O segundo explora o papel do transporte coletivo na

mobilidade urbana, destacando os benefícios dos ônibus. O terceiro examina os sinistros envolvendo ônibus, analisando causas e implicações para segurança. E o quarto aborda o tema de análise espacial e sinistros de trânsito.

A metodologia detalha aspectos centrais do estudo, como o local, o período analisado e as fontes de dados. Também detalha o procedimento utilizado para o tratamento dos dados adotado, incluindo sua análise e consistência. Por último, descreve o procedimento aplicado para as análises dos sinistros, por meio de estatística descritiva e a análise espacial.

Os resultados e discussões conectam as análises dos dados obtidas e a revisão da literatura. A estatística descritiva identifica tendências para o transporte coletivo e os sinistros de trânsito. A análise espacial evidencia os pontos críticos geográficos relacionados aos eventos e, aliada à aplicação dos métodos de autocorrelação espacial, permite identificar padrões de concentração ou dispersão dos sinistros de trânsito.

A conclusão sintetiza as descobertas e destaca as contribuições do trabalho. Ela aponta recomendações práticas para melhorias no transporte coletivo e na segurança. Além disso, propõe direções para pesquisas futuras que ampliem o escopo da investigação. Assim, reforça o papel do estudo na construção de políticas voltadas à mobilidade urbana.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura desta dissertação explora os principais aspectos de sinistros de trânsito envolvendo ônibus. O estudo está estruturado em quatro capítulos. Em geral, o primeiro aborda sinistros de trânsito, sua definição, impacto, consequências e diretrizes de mitigação. O segundo, a importância do transporte coletivo para a mobilidade urbana, destacando o objeto de estudo desse trabalho (veículos do tipo ônibus e micro-ônibus). O terceiro trata das causas e consequências dos sinistros envolvendo esses veículos, além das condições que influenciam sua ocorrência e gravidade. E o quarto aborda conceitos de análise espacial, metodologia que será utilizada nesse estudo.

Na primeira seção, discute-se as definições de sinistros de trânsito, seus diversos tipos e consequências, abrangendo custos sociais, ambientais e econômicos. Analisa-se os tipos de sinistros mais comuns e o perfil das vítimas em níveis nacional, estadual e municipal, com ênfase em Belo Horizonte, recorte espacial de estudo desta dissertação. Examina-se as metas de mitigação de sinistros e óbitos no trânsito em âmbitos global, nacional e municipal, bem como o cumprimento dessas metas pelo Brasil. O objetivo é fornecer uma compreensão abrangente do impacto dos sinistros de trânsito e das medidas necessárias para mitigar suas consequências.

Na segunda seção aborda-se a importância do transporte coletivo, com ênfase no uso de ônibus e micro-ônibus, destacando seus impactos ambientais, econômicos e sociais. Analisa-se a queda na demanda, impulsionada principalmente pela baixa qualidade dos serviços oferecidos ao longo dos anos. Discute-se ainda as estratégias adotadas para reverter esse quadro, incluindo melhorias na qualidade e ações para atrair mais usuários. O objetivo é fornecer uma compreensão abrangente dos desafios enfrentados pelo setor e das medidas necessárias para promover um sistema de transporte público eficiente e sustentável.

A terceira seção trata dos sinistros de trânsito envolvendo ônibus, abordando suas principais características, causas e impactos. Discute-se os fatores que contribuem para esses sinistros, incluindo aspectos da infraestrutura viária, comportamento dos motoristas e interações com outros modos de transporte. Avalia-se as consequências desses sinistros para vítimas, empresas de transporte e a mobilidade urbana. E examina-se medidas de prevenção e segurança, desde melhorias na fiscalização até o uso de novas tecnologias. O objetivo é proporcionar uma visão ampla do problema e identificar estratégias para a redução da ocorrência desses eventos.

É na quarta seção, apresenta o tema de análise espacial e os principais conceitos do subcampo chamado estatística espacial. Aborda-se os fundamentos da análise espacial e o papel dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) nos estudos de transporte. Apresenta-se os conceitos de alguns métodos de análise espacial como a Estimativa de Densidade Kernel (EDK), Índice de Moran Global, *Local Indicator of Spatial Association* (LISA) e as principais dimensões do ambiente construído e sinistralidade. O objetivo é demonstrar como essas ferramentas permitem compreender padrões geográficos e contribuir na formulação de estratégias para prevenção de sinistros.

2.1 Sinistros de trânsito e suas consequências

Acidentes de trânsito são definidos como eventos não intencionais e inesperados. Eles podem envolver um ou mais veículos (DER, 2023), motorizados ou não, e em movimento por uma via (Ferraz et al., 2012), incluindo calçadas (Melo; Mendonça, 2021). Compreendem colisões entre veículos, choques com objetos fixos, capotamentos, tombamentos, atropelamentos e queda de pedestres e ciclistas (IPEA, 2003) e resultam em danos materiais e perda de vidas humanas (Barreto, 2015). Além dos danos psíquicos e estresses traumáticos aos quais as vítimas e seus familiares são submetidos após esses eventos (Carvalho, 2020).

Embora a palavra “acidente” sugira, semanticamente, algo inevitável, fatores controláveis como velocidade das vias, leis e condições de mobilidade influenciam o risco desses eventos (PNATRANS, 2021). Dessa forma, a NBR 10697 da ABNT (2020, p.1), atualizou o termo “acidentes de trânsito” para “sinistros de trânsito”, sendo a definição mais atual desses eventos: “todo evento que resulte em dano ao veículo ou à sua carga, e/ou em lesões a pessoas e/ou animais, e que possa trazer dano material ou prejuízos ao trânsito, à via ou ao meio ambiente, em que pelo menos uma das partes está em movimento nas vias terrestres ou em áreas abertas ao público”.

Os sinistros de trânsito trazem grandes impactos e custos sociais e econômicos em todo o mundo (Batista; Souza; Moreira, 2022), além de também serem um grande problema de saúde pública (Valdez, 2021) e poderem resultar em vítimas mortais (Tandrayen-Ragoobur, 2024). Calvo-Poyo, Navarro-Moreno e Oña (2020) segregam esses custos em: custo humano, perda de produção, custos médicos e custos administrativos. Já Ferraz et al. (2023) dividem esses custos em econômicos, sociais e ambientais, enquanto o IPEA (2015) associa esses custos à pessoas, aos veículos, às instituições, e aos danos patrimoniais.

O Brasil é um dos países que lideram a mortalidade por sinistro de trânsito urbano (Oliveira-Friestino et al., 2023), matando aproximadamente 37,5 mil pessoas por ano segundo os dados do Ministério da Saúde (2024), além de poderem deixar sequelas permanentes ou temporárias (Valdez, 2021), que afetam direta e indiretamente a qualidade de vida e as condições de saúde dos grupos populacionais expostos a esses eventos (Melo; Mendonça, 2021). Ferraz et al. (2023) associa essas sequelas principalmente ao sofrimento físico e psicológico das vítimas e seus familiares, doenças de natureza psicológica que acometem vítimas e destruturação econômica de famílias.

Os sinistros de trânsito também causam aumento no custo com serviços de saúde, comprometendo a economia do país e afetando de 1% a 3% do Produto Interno Bruto (PIB) (Oliveira-Friestino et al., 2023). Ferraz et al. (2023) completam que esses eventos também geram custos relacionados a remoção dos veículos acidentados, resgate das vítimas, limpeza e reparo dos danos causados à via e à sinalização de trânsito, perdas de dia de trabalho, pensões e aposentadorias precoces, custos policiais e judiciários, e funerais. Dessa forma, os custos totais associados aos sinistros de trânsito nas aglomerações urbanas brasileiras se encontram em uma faixa de R\$ 9,9 bilhões a R\$ 12,9 bilhões em 2014 (Carvalho, 2020).

Pensando em cidades mineiras, o custo total médio anual dos sinistros de trânsito em cidades pequenas é de R\$ 1,68 bilhões, enquanto em cidades médias/grandes é de aproximadamente R\$ 6,18 bilhões (Cordeiro et al., 2021). Parte desse custo está relacionado ao gasto com auxílio-acidente, estimando-se um gasto médio anual do Estado de R\$ 4,6 bilhões (Braga; Castro, 2024). Enquanto em Belo Horizonte, 85% das observações de custo de sinistros estão relacionadas com perda de produção, danos a veículos e atendimento médico hospitalar. Esse resultado está relacionado a um custo estimado da ordem de R\$ 5,2 milhões por ano (Davila, 2021).

Há também os custos ambientais, ligados ao envolvimento de veículos que transportam produtos químicos, muitas vezes com derramamento de carga (Ferraz et al., 2023). Isso pois desprendimento de fragmentos da carga durante o trajeto dos veículos nas vias pode causar poluição hídrica, do solo, do ar e visual (Garcia; Taveira, 2022). Por exemplo, óleos derramados nas vias públicas podem causar ou agravar incidentes, ao formarem uma película altamente escorregadia. Além disso, existe o risco de propagação de incêndios (Rosa, 2022) e possibilidade de infiltração de produtos perigosos no solo, causando danos ao lençol freático (Pedro, 2006).

A PNATRANS (2021) enfatiza que o diagnóstico e a gestão dos problemas relacionados aos sinistros de trânsito devem ser contínuos e baseados em dados reais, padronizados e constantemente atualizados. Para isso, conforme estabelecido pela Resolução CONTRAN Nº 808, de 15 de dezembro de 2020, foi criado o Registro Nacional de Acidentes e Estatística de Trânsito (RENAEST) (Brasil, 2020). A atualização do RENAEST é essencial para subsidiar a criação e o aprimoramento de políticas públicas de segurança viária e para aperfeiçoar a precisão e a agilidade na coleta de dados (Ministério dos Transportes, 2025).

Um dos dados disponíveis no RENAEST é a classificação do tipo de sinistro ocorrido (RENAEST, 2025). A classificação do tipo de sinistro ocorrido é realizada de acordo com suas características e identificação de suas possíveis causas. Isso é importante para que a definição das ações a serem implementadas visem reduzir a sinistralidade, uma vez que a eficácia de qualquer medida depende do tipo de sinistro que se deseja evitar (Ferraz et al., 2023). A classificação dos tipos de sinistros, de acordo com a NBR 10697 da ABNT (2020, p.5) é apresentada na Tabela 1.

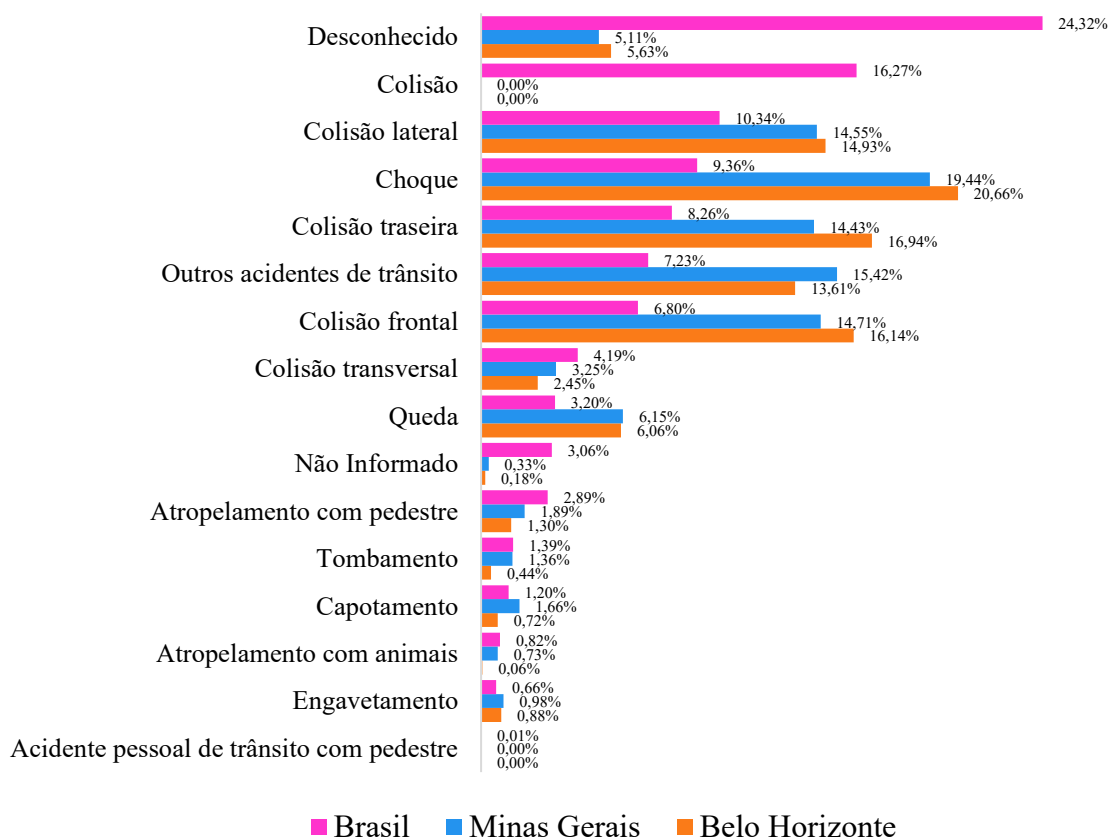
Tabela 1- Tipos de Sinistros e suas definições

Tipo de Sinistro	Definição
Atropelamento de animal(is)	Sinistro de trânsito em que animal(is) sofre(m) o impacto de um veículo em movimento
Atropelamento de pessoa(s)	Sinistro de trânsito em que pessoa(s) sofre(m) o impacto de um veículo em movimento
Capotamento	Sinistro de trânsito em que o veículo gira sobre si mesmo, em qualquer sentido, ficando em algum momento com as rodas para cima, imobilizando-se em qualquer posição
Choque	Sinistro de trânsito em que há impacto de um veículo contra qualquer objeto fixo ou objeto móvel sem movimento
Colisão	Sinistro de trânsito em que um veículo em movimento sofre o impacto de outro veículo também em movimento
Colisão frontal	Colisão que ocorre quando os veículos transitam em sentidos opostos, na mesma direção, colidindo frontalmente
Colisão lateral	Colisão que ocorre lateralmente, quando os veículos transitam na mesma direção, podendo ser no mesmo sentido ou em sentidos opostos
Colisão transversal	Colisão que ocorre transversalmente, quando os veículos transitam em direções que se cruzam, ortogonal ou obliquamente
Colisão traseira	Colisão que ocorre na frente contra traseira ou na traseira contra traseira, quando os veículos transitam no mesmo sentido ou em sentidos opostos, podendo pelo menos um deles estar em marcha a ré
Engavetamento	Sinistro de trânsito em que há impacto entre três ou mais veículos, em um mesmo sentido de circulação, resultado de uma sequência de colisões traseiras, laterais ou transversais
Queda	Sinistro de trânsito em que há impacto em razão de queda livre do veículo, queda de pessoas ou cargas transportadas em razão do movimento do veículo
Tombamento	Sinistro de trânsito em que o veículo sai de sua posição normal, imobilizando-se sobre uma de suas laterais, sua frente ou sua traseira
Outros sinistros de trânsito	Qualquer sinistro de trânsito que não se enquadre nas definições anteriores
Sequência	Combinação dos sinistros de trânsito definidos anteriormente, que ocorrem em sequência no mesmo evento

Fonte: NBR 10697 da ABNT (2020, p.5). Adaptado.

Com base nos dados do Registro Nacional de Sinistros e Estatísticas do Ministério dos Transportes (2025), 24% dos sinistros no Brasil entre 2018 e 2024 foram classificados como "desconhecido" e 16% como colisão. Em Belo Horizonte, Paixão et al. (2015) investigaram sinistros com vítimas entre 2008 e 2010, identificando colisões entre veículos (70%) e atropelamentos (19%) como os principais tipos de sinistros ocorridos no município. Em contraste, o Ministério dos Transportes (2025) apontou choques (21%) e colisões traseiras (17%) como prevalentes entre 2018 e 2024 (Figura 1).

Figura 1- Percentual da quantidade de sinistros por tipo de sinistros no Brasil, em Minas Gerais e em Belo Horizonte (2018-2024)



Fonte: RENAEST (2024). Adaptado.

Os sinistros de trânsito também podem ser influenciados por alguns fatores. A análise desses fatores serve para possibilitar a formulação de recomendações direcionadas à mitigação de problemas previamente identificados (Babosa, 2022). Cyganczuk, Pinto e Bastos (2023) dividem essas categorias determinantes em fator humano (sexo, idade, tipo de envolvido), fator veículo (tipo de veículo, ano de fabricação), fator via (tipo de pista, traçado da pista, uso do solo) e fator ambiente (horário, dia da semana, fase do dia, condição metodológica e data (mês)). A NBR 10697 da ABNT (2020, p.6) divide esses fatores geradores de sinistros em externo, humano, operacional, veicular e viário.

Ao se pensar no fator humano, o comportamento dos motoristas é um dos que influenciam a ocorrência de sinistros (Braga Filho et al., 2024). Elementos como a fadiga (Rahnama; Cortez; Monzon, 2024) e a inexperiência do motorista podem agravar o risco desses eventos (Sha et al., 2022). Os sinistros de trânsito também apresentam distribuição diferente para sexo, idade, grupos sociais e áreas de risco, revelando situações de vulnerabilidade de pessoas e de lugares (Paixão et al., 2015). Geralmente o sexo masculino, adultos jovens, de baixa escolaridade e motociclista são o perfil que apresenta maior taxa de óbitos e internações decorrentes desses eventos (Oliveira-Friestino et al., 2023).

Segundo os dados do Ministério da Saúde (2022), 83% das vítimas fatais no trânsito no Brasil são homens. A faixa etária mais afetada é de 20 a 24 anos e as motocicletas são o meio de transporte com o maior número de óbitos. Se tratando de Minas Gerais, o cenário não é muito diferente. De acordo com os dados de sinistros terrestres da Secretaria do Estado de Saúde (2024) de Minas Gerais (2010-2024), 81% das vítimas fatais são homens, sendo a faixa etária mais afetada de 20 a 25 anos (11%) e a raça mais afetada é a branca (56%). Enquanto para Belo Horizonte, os dados revelam que 80% das vítimas fatais são homens, a faixa etária mais afetada também é a de 20 a 25 anos (12%) e a raça mais afetada é a parda (52%).

Quanto ao fator veículo, os dados do Ministério dos Transportes (2025) mostram que no Brasil os principais tipos de veículos envolvidos em sinistros são automóvel (56%), motocicleta (22%) e caminhonete (7%). Enquanto em Belo Horizonte, são automóveis (81%), motocicletas (15%) e ônibus (10%). Já em relação ao fator ambiente em BH, os sinistros entre 2008 e 2010 foram mais frequentes às sextas-feiras (16%) e no período de 12 às 21 horas (54%). Os fatais apresentaram 50% mais chance de ocorrer nos finais de semana, concentrando-se (42%) no período entre 21 e 6 horas. E boas condições climáticas (91%) e vias asfaltadas (97%) estavam registradas na quase totalidade dos boletins de ocorrência (Paixão et al., 2015).

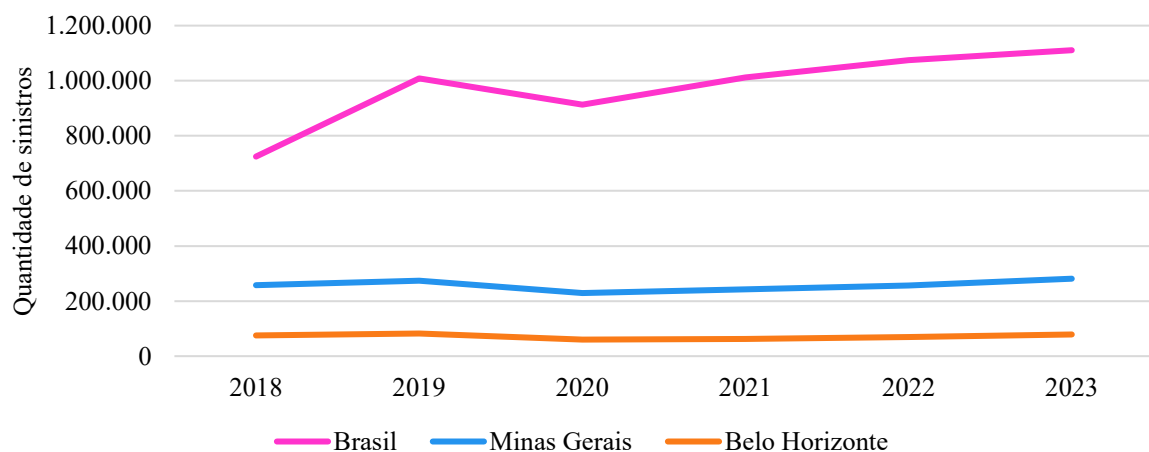
Considerando que a sinistralidade no trânsito é um problema global, a ONU (2010) estabeleceu a década “de Ação pela Segurança no Trânsito 2011-2020” através do relatório A/RES/64/255. A meta era que cada país criasse um plano abrangente com políticas, programas e ações para reduzir em 50% as fatalidades no trânsito em dez anos. Em agosto de 2020, a ONU (2020) aprovou a Resolução A/74/299, proclamando 2021-2030 como a “Segunda Década de Ação pela Segurança no Trânsito”, com o objetivo de novamente reduzir pela metade as mortes e feridos no trânsito durante esse período.

Essa meta está incluída nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) da Agenda 2030, nas ODS 3.6 e 11.2 (ONU, 2021). A ODS 3.6 trata de até 2030 reduzir pela metade as mortes e os ferimentos globais por acidentes em estradas. E a ODS 11.2 trata de até 2030, proporcionar o acesso a sistemas de transporte seguros, acessíveis, sustentáveis e a preço acessível para todos, melhorando a segurança rodoviária por meio da expansão dos transportes públicos, com especial atenção para as necessidades das pessoas em situação de vulnerabilidade, mulheres, crianças, pessoas com deficiência e idosos (ONU, 2020).

No Brasil, em acordo com o ODS 3, o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS, 2021) estabelece metas de redução de mortes e lesões no trânsito, fixando reduções de 50% nos índices de mortes por 100 mil habitantes e mortes por 10 mil veículos, em um prazo de 10 anos (Santos et al., 2022). Ademais, a redução de sinistros pode também estar relacionada com outros ODS, como o ODS 11: Cidades e Comunidades Sustentáveis, que inclui metas para tornar as cidades mais seguras, resilientes e sustentáveis, promovendo infraestruturas e serviços de mobilidade mais seguros (PNATRANS, 2021).

No entanto, ao observar a série histórica de 2018 a 2023 do Ministério dos Transportes (2025) de sinistros de trânsito no Brasil (Figura 2), nota-se um aumento da quantidade de sinistros de 2018 para 2019, seguido por uma queda em 2020, possivelmente devido às restrições de mobilidade impostas pela pandemia de COVID-19. A partir de 2021, observa-se um aumento contínuo até 2023, possivelmente com o retorno das atividades normais. Em Minas Gerais, os sinistros apresentam oscilações leves, com um pico em 2019, uma queda em 2020 e um aumento gradual até 2023. Em Belo Horizonte, os sinistros mantêm-se relativamente estáveis ao longo dos anos, com uma leve queda em 2020 e um pequeno aumento até 2023.

Figura 2- Quantidade de sinistros no Brasil, Minas Gerais e em Belo Horizonte (2018-2023)



Fonte: RENAEST (2024). Adaptado.

De acordo com o Ministério da Saúde (2022), ao comparar os números de sinistros entre 2000-2009 e 2010-2019, a primeira década voltada para redução da mortalidade do trânsito não teve resultados práticos no Brasil. Em termos de mortes absolutas, houve um aumento de 13,5% em relação à década passada e em termos de taxa de mortalidade por cada 100.000 habitantes, os índices praticamente permaneceram no mesmo patamar da década anterior (houve pequeno aumento de 2,3%) (Carvalho; Guedes, 2023). Caso a meta de redução de redução de 50% do número de mortes no trânsito tivesse sido cumprida, teria sido possível salvar um total de 160 mil vidas em todo o país no período de 2011 a 2020 (PNATRANS, 2021).

Em relação à prevenção de sinistros, a definição de metas em prol da segurança viária faz parte de um conjunto de objetivos estabelecidos dentro de um processo de gestão, em que se assume um compromisso de execução em um determinado tempo (PNATRANS, 2021). Geralmente, a segurança viária foca na educação, treinamento, regulamentação e fiscalização das regras de trânsito. Porém, essas iniciativas não abordam questões sistêmicas, de projeto e infraestrutura que também afetam a segurança no trânsito (Welle et al., 2019). Por isso, para desenvolver planos eficazes, é importante estimar a eficiência das ações na redução da sinistralidade, com valores desagregados por tipo de sinistro e gravidade (Ferraz et al., 2023).

O Plano Global-Década de Ação Pela Segurança no Trânsito 2021-2030 da ONU (2021) divide suas metas para mitigação de sinistros em cinco áreas principais: 1. Transporte multimodal e planejamento de uso do solo; 2. Infraestrutura viária segura; 3. Segurança do veículo; 4. Uso seguro da via; e 5. Resposta pós-sinistro. Seguindo a mesma perspectiva, o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito 2021-2030 da PNATRANS (2018) divide suas metas em seis pilares: 1. Gestão da Segurança no Trânsito; 2. Vias Seguras; 3. Segurança Veicular; 4. Educação para o Trânsito; 5. Atendimento às Vítimas; e 6. Normatização e Fiscalização. Cada pilar é composto por iniciativas específicas com suas próprias ações, conforme detalhado na Tabela 2.

Tabela 2- Ações recomendadas pela PNATRANS para mitigação de sinistros

Pilares	Iniciativas
Gestão da Segurança no Trânsito	Institucionalização da agenda de segurança no trânsito Consolidação e fortalecimento do Registro Nacional de Acidentes e Estatísticas de Trânsito (RENAEST) Financiamento
Vias Seguras	Atualização das diretrizes e dos parâmetros de desenho seguro Aprimoramento de processos de concepção, execução e manutenção de infraestrutura viárias Expansão da implantação de Infraestrutura segura

Pilares	Iniciativas
Segurança Veicular	Aprimoramento da segurança veicular Inovação Tecnológica Processos estruturantes
Educação para o Trânsito	Estruturação da educação para o trânsito no ensino básico Fomento do tema da segurança no trânsito no ensino superior Aprimoramento da formação, qualificação e capacitação dos agentes públicos Aprimoramento e direcionamento de campanhas educativas para segurança no trânsito Aprimoramento da formação do condutor
Atendimento às Vítimas	Fortalecimento do sistema de resposta às ocorrências de sinistros de trânsito Fortalecimento da assistência médica profissional Gestão do sistema de resposta às ocorrências de sinistros de trânsito Manutenção do suporte financeiro da rede de urgências e emergências
Normatização e Fiscalização	Fortalecimento do sistema de resposta às ocorrências de sinistros de trânsito Promoção da inovação da operação e fiscalização de trânsito Prevenção de comportamentos de risco por meio de operação e fiscalização de trânsito Formação e capacitação continuada dos agentes de trânsito

Fonte: PNATRANS (2018). Adaptado.

A gestão da segurança visa a eliminação de mortos e feridos graves no trânsito, e reforça que a responsabilidade por esse objetivo é de quem projeta, constrói, gerencia, fiscaliza e usa as vias e os veículos e dos agentes responsáveis pelo atendimento às vítimas (PNATRANS, 2018). Por isso, a abordagem de um sistema seguro pressupõe uma responsabilidade compartilhada entre diversos agentes (Ministério dos Transportes, 2025). Uma das estratégias fundamentais para atingir esse objetivo é promover a coordenação e colaboração intersetorial entre diferentes órgãos, como a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Organização das Nações Unidas (ONU) (OPAS, 2020).

Dentre os fatores mais estudados para reduzir sinistros encontra-se a infraestrutura viária, principalmente no que tange à geometria, à sinalização e às condições de superfície (Carvalho; Machado; Bernucci, 2020). De acordo com a Política Nacional de Mobilidade Urbana, elas devem estar sempre inter-relacionadas com um planejamento sistêmico que produzam benefícios efetivos e proporcionais aos recursos empregados (BRASIL, 2012). Para isso, padrões técnicos e de projeto devem ser aplicados na construção de novas vias, bem como na manutenção e eventual melhoria das vias existentes, sejam elas ruas, avenidas, rodovias ou estradas (PNATRANS, 2018).

As inovações em segurança veicular têm sido fundamentais para mitigar a severidade dos sinistros (Peixoto, 2024). Muitas das tecnologias veiculares são projetadas para mitigar o impacto de uma colisão, reduzindo assim a gravidade dos ferimentos e evitando fatalidades

(PNATRANS, 2018). No entanto, torna-se responsabilidade do estado vistoriar e inspecionar as condições de segurança veicular, de acordo com a Lei Nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 (Brasil, 1997). Para isso, deve-se ocorrer inspeções veiculares periódicas, visando verificar suas condições de segurança, para que seja permitida, ou não, sua circulação em vias públicas, conforme NBR 14040-1 da ABNT (2023, p.2).

A educação para o trânsito é indicada para o desenvolvimento em todos os níveis de educação e é sugestiva para a prevenção destes incidentes (Del Sarto et al., 2020). No entanto, embora a escola seja o meio pelo qual se insere uma cultura de responsabilidade mútua, ela isolada não pode ter a responsabilidade de educar a todos sobre tudo que a sociedade necessita (Pinto; Costa, 2022). Dessa forma, as ações desse tema, além de incluírem a integração do ensino de trânsito na formação de crianças, jovens e adultos e a mitigação dos os erros intencionais dos usuários também devem focar na formação, treinamento e capacitação de técnicos e gestores atuantes no sistema de trânsito, nas diferentes escalas de governo (PNATRANS, 2018).

As estratégias de mitigação de sinistros ligadas ao atendimento às vítimas incluem a prevenção de sinistros de trânsito (Filardi, 2023), o atendimento pré-hospitalar, essencial na resposta a emergências médicas (Neto, 2024) e pós sinistro, já que o tempo decorrido entre o incidente e o atendimento hospitalar é um fator crucial para diminuir a mortalidade e a ocorrência de sequelas (Melo; Mendonça, 2021). Enquanto a normalização e fiscalização tem objetivo de estimular o cumprimento de regras de trânsito e, conseqüentemente, a mitigação de comportamentos de risco intencionais dos usuários (PNATRANS, 2018).

2.2 Transporte coletivo por ônibus: importância na mobilidade urbana

As cidades brasileiras passaram por um rápido processo de produção disperso e segregado, social e territorialmente, devido à urbanização acelerada na segunda metade do século XX (Dantas, 2023). No final desse período, apenas 17% da população vivia em áreas urbanas, mas hoje esse número aumentou para 87% (IBGE, 2022). Tamanha mudança demográfica está associada à passagem da dinâmica econômica de base primária e exportadora para uma de base urbano-industrial (Santos, 2020). Conseqüentemente, as cidades brasileiras se tornaram sistemas intrincados caracterizados por numerosos elementos inter-relacionados e interativos, incluindo população, uso do solo e atividades de viagem (Li et al., 2024).

Esse crescimento desordenado dos grandes centros urbanos, somados à falta de infraestrutura urbana e a falta de investimento público ao longo dos anos, tem resultado em cidades com

graves problemas urbanos (Sales et al., 2020). Um deles é que, na maioria dos grandes centros urbanos, boa parte da população de baixa renda vive nas áreas da periferia, em que a oferta de serviços públicos é precária (Freire et al., 2023). Esse fator retira-lhes o direito à mobilidade urbana, limitando os seus laços sociais com os restantes membros da sociedade e impedindo-os de escolher onde viver e onde utilizar o espaço público (Silva et al., 2023).

Dessa forma, a mobilidade urbana deve atuar como um atributo que trata da facilidade de deslocamentos e fluidez no espaço urbano (Souza; Souza; Paula, 2024), possibilitando a realização de atividades comerciais, industriais, educacionais, recreativas, entre outras (Ferraz et al., 2024). Para isso, o transporte coletivo tem o papel crucial, ao integrar diferentes áreas da cidade e promover o acesso da população às oportunidades urbanas (Dantas, 2023). Há exemplo, a acessibilidade de um indivíduo que possui um automóvel não é afetada à noite pela ausência de serviço de transporte coletivo, mas limitará pessoas que não tem outro meio de se deslocar (Silva et al., 2023).

No entanto, os grupos sociais de baixa renda gastam uma alta porcentagem de sua renda em transporte, mas têm acesso à sistemas de transporte com menor qualidade (Lucas et al., 2016). Táxi e carro próprio são os meios de transporte individual com maiores custos diários (R\$ 45,69 e R\$ 29,91), enquanto entre os transportes coletivos estão o transporte alternativo legalizado/lotação legalizada (van/kombi/perua) e o ônibus (R\$ 10,17 e R\$ 9,75) (CNT, 2024). Esse elevado gasto com transporte causa estresse econômico e reduz os recursos disponíveis para alimentação, educação, habitação e despesas emergenciais, tornando as famílias mais pobres mais vulneráveis a choques financeiros negativos (Pereira et al., 2021).

Em Belo Horizonte, entre 1992 e 2002, as periferias do município, onde se encontram os bairros de menor renda per capita, apresentaram uma maior demanda por viagens de ônibus em comparação com viagens por automóvel (Miranda; Lobo; Lessa, 2017). Em contrapartida, a espacialização da demanda de viagens por ônibus no município se concentrava na região central, área com maior densidade de estabelecimentos de comércio e serviços (Lessa, 2019), haja vista que os níveis mais altos de acessibilidade ao emprego estão na região central, com maior concentração de empregos, enquanto nas periferia, especialmente Barreiro, Nordeste, Norte e Venda Nova, os níveis são mais baixos (Libânio, 2020).

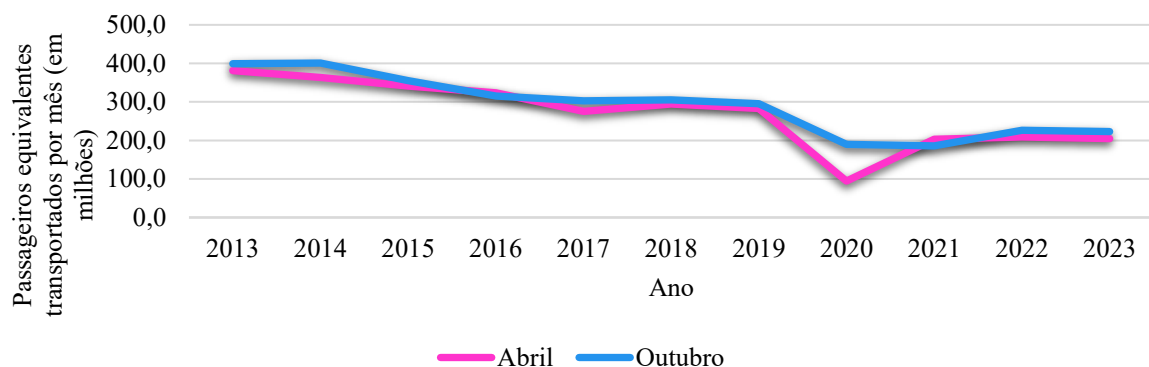
A decisão por uso de transporte coletivo, em alternativa ao automóvel, é de extrema importância para a melhoria da mobilidade urbana (Souza; Souza; Paula, 2024). Essa substituição impacta

na redução da poluição ambiental, congestionamentos, sinistros de trânsito, necessidade de investimentos em obras viárias caras e consumo desordenado de energia (Ferraz et al., 2024). E também produz um melhor aproveitamento do espaço urbano, visto que uma viagem casa-trabalho feita por automóvel consome pelo menos 20 vezes mais espaço do que a mesma viagem feita por transporte coletivo, liberando áreas para outras atividades (Kneib, 2022).

O setor de transportes é a maior fonte de emissões urbanas de gases de efeito estufa, com 46,3% do total dessas emissões (Varejão; Serra, 2020). A distribuição das emissões de CO₂ nos centros urbanos brasileiros é composta por 66,6% provenientes de automóveis, 15,7% de ônibus, 14% de caminhões, 3,5% de motocicletas e 0,3% de sistemas ferroviários (CNT, 2024). Ademais, há aspectos ambientais que envolvem a exposição desproporcional de certos grupos populacionais a externalidades como poluição e sinistros de trânsito, bem como desvantagens dos projetos de infraestrutura sobre a vida das comunidades locais, incluindo o deslocamento e a dissolução dessas comunidades (Lucas et al., 2016).

Apesar de numerosos benefícios às cidades, este sistema vem passando por fortes crises (Carvalho; Lucas, 2023). O incentivo à aquisição de automóveis e a falta de priorização do transporte coletivo vem elevando a tarifa e reduzindo a qualidade do serviço do transporte público (Tardin et al., 2020), fator que vem resultando em uma queda gradativa na demanda pelo uso do transporte coletivo nas cidades brasileiras (Silva, 2022) (Figura 3). Esse ciclo vicioso de aumento de tarifas e perda de passageiros compromete a competitividade e sustentabilidade dos sistemas de transporte público (Pereira et al., 2021) que, via de regra, são majoritariamente custeados pela tarifa dos usuários diretos (Pompermayer, 2023).

Figura 3- Passageiros equivalentes transportados por mês (em milhões) (2013-2023). Sistemas de ônibus analisados: Belo Horizonte - MG, Curitiba - PR, Fortaleza - CE, Porto Alegre - RS, Rio de Janeiro - RJ, Salvador - BA e São Paulo - SP (Municipal), Goiânia - GO (Municipal e intermunicipal metropolitano) e Recife - PE (Municipal e intermunicipal metropolitano)



Fonte: NTU (2024). Adaptado.

Esses desafios estão relacionados principalmente à má qualidade desses sistemas (Silva, 2022). A confiabilidade nos sistemas de transportes urbanos depende de diversos fatores (Rodrigues; Bueno; Machado, 2020). Por exemplo, uma viagem por transporte coletivo urbano inclui caminhar até o ponto de embarque, esperar pelo transporte, deslocar-se dentro do veículo e caminhar do ponto de desembarque até o destino final (Ferraz et al., 2024). Por isso, para garantir a qualidade dos serviços de transporte público, é essencial utilizar instrumentos que avaliem o desempenho dos sistemas e se alinhem às expectativas dos passageiros (Almeida, 2023), através principalmente de indicadores de qualidade (Tabela 3).

Tabela 3- Indicadores de avaliação da qualidade de transporte coletivo por ônibus

Ator	Fatores	Parâmetros para a Avaliação
Usuários	Acessibilidade	Distância de caminhada no início e no fim da viagem; Comodidade nas caminhadas
	Frequência	Intervalo entre atendimentos
	Tempo de Viagem	Relação entre o tempo de viagem por ônibus e de carro
	Lotação	Taxa de passageiros em pé
	Confiabilidade	% de viagens programadas realizadas no horário com alguma tolerância
	Segurança	Índice de sinistros e taxa de violência
	Características dos Veículos	Idade, estado de conservação, número de portas, largura do corredor, altura dos degraus e aparência
	Características das Paradas	Sinalização adequada, existência de coberturas e bancos e aparência
	Sistema de Informação	Disponibilidade de informações via internet e aplicativos para celular, telefone para obter informações e fazer reclamações
	Conectividade	Porcentagem de transbordos e existência de integração física e tarifária
	Comportamento dos Operadores	Habilidade e precaução dos condutores e tratamento dispensado aos usuários
	Estado das Vias	Vias pavimentadas e em bom estado, presença de buracos, lombadas, valetas e qualidade da sinalização de trânsito
	Tarifa	Comparação com outras cidades
Trabalhadores	Salários e outros benefícios	Comparação com outras cidades e outros setores
	Jornada de trabalho	Respeito às leis e normas do trabalho
	Instalações físicas	Protegidas e com sanitários, ventilação etc.
	Reconhecimento e respeito	Dos superiores, colegas e da comunidade
	Integração e motivação	Satisfação com o trabalho e possibilidade de fazer sugestões
	Oportunidade de desenvolvimento	Possibilidade de treinamento e progresso na empresa
Comunidade	Poluição atmosférica	Presença de veículos lançando produtos tóxicos
	Poluição sonora	Presença de veículos barulhentos
	Prejuízo para o trânsito	Alta concentração de ônibus em alguns locais
	Segurança	Índice de acidentes e taxa de violência
	Degradação de espaços públicos	Forma de ocupação e aparência dos espaços públicos destinados a estações, terminais e pontos de parada
	Valor da tarifa	Comparação com outras cidades
	Estética (poluição visual)	Aparência dos ônibus, dos locais de paradas e das estações e terminais
	Situação dos trabalhadores	Condições de trabalho dos empregados do setor
Empresá rios	Cumprimento da lei	Grau de respeito das empresas às leis e regulamentos
	Imagem do serviço	Opinião da população e dos meios de comunicação
	Rentabilidade do negócio	Taxa de rentabilidade do capital das empresas operadoras
	Prazo legal restante	Prazo restante para finalizar a concessão/permissão das empresas operadoras

Ator	Fatores	Parâmetros para a Avaliação
	Reconhecimento pelo trabalho	Imagem das empresas e do sistema perante a comunidade e o governo
Governo	Valor da tarifa	Estudos e comparação com outras cidades
	Qualidade do serviço	Estudos e comparação com outras cidades
	Eficiência do serviço	Estudos e comparação com outras cidades
	Justiça financeira entre as empresas	Existência de compensação tarifária
	Imagem do serviço	Pesquisas com usuários e notícias nos meios de comunicação
	Satisfação dos usuários	Estudos e pesquisas
	Satisfação da comunidade	Estudos e pesquisas
	Satisfação dos trabalhadores	Estudos e pesquisas
	Satisfação dos empresários	Estudos e pesquisas

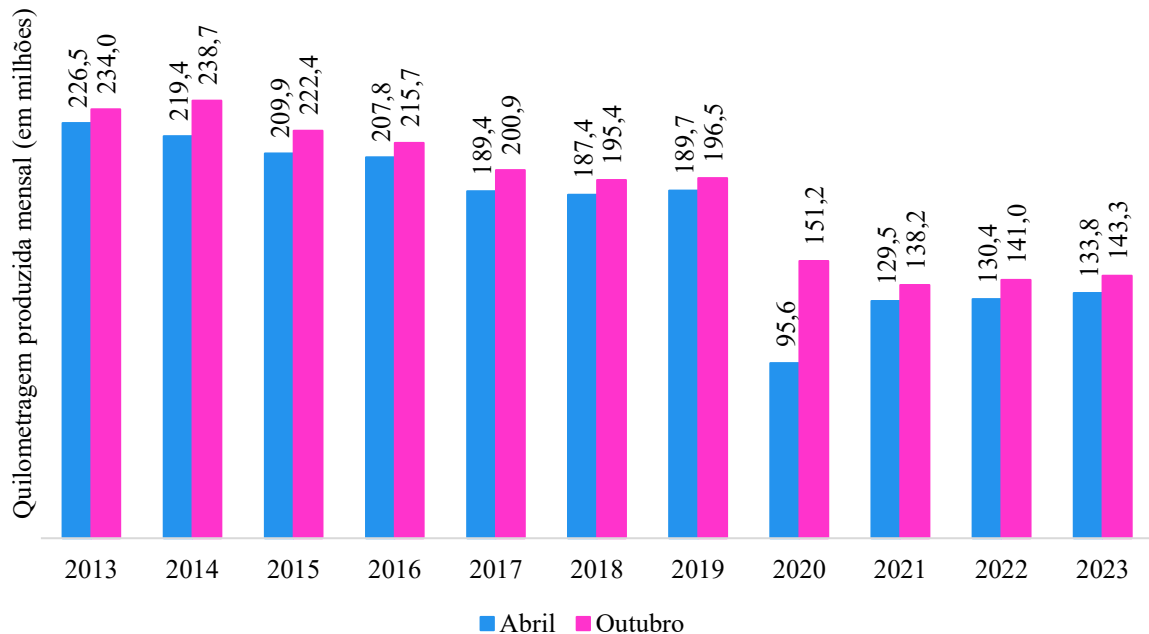
Fonte: Ferraz et al. (2024). Adaptado.

De acordo com Ferraz et al. (2024), a qualidade no transporte público urbano depende de uma visão integrada que considere a satisfação de todos os atores envolvidos: usuários, comunidade, governo, trabalhadores e empresários. E para alcançar uma qualidade global, é essencial que cada ator compreenda seus objetivos, direitos e responsabilidades, desempenhando suas funções de forma eficiente. Além disso, a capacitação do sistema exige que todos entendam os papéis dos demais e se comuniquem continuamente. Esse intercâmbio contribui para a resolução participativa de problemas, promovendo assim a democratização do sistema.

A demanda pelo transporte coletivo também sofreu uma queda significativa durante o período da pandemia de COVID-19 (Alves, 2023), devido às medidas de mitigação impostas pelos governos, que resultaram na redução da mobilidade em vários países devido à suspensão súbita das atividades (Colombo et al., 2021). Por sua vez, o serviço de transporte público coletivo realizado pelo modo ônibus é um dos principais responsáveis pelo deslocamento da população em geral (Tanure, 2023). Responsável por 50% dos transportes motorizados (Lima et al., 2020), os ônibus tiveram redução em até 60% de sua frota disponível para este serviço no período da pandemia (Santos, 2024).

Logo, a crise provocada pela pandemia, intensificou a queda de passageiros no transporte público no Brasil (Pereira et al., 2021). Em Belo Horizonte, a queda na demanda neste período foi em 60% (Oliveira et al., 2022). No entanto, esse cenário já ocorria ao longo do tempo, sendo que houve uma redução no número de viagens por ônibus e aumento das viagens por automóveis no município entre os anos de 1992 a 2012 (Miranda; Lobo; Lessa, 2017). De igual modo, a oferta do sistema de ônibus (quilometragem produzida mensalmente) também vinha apresentando uma queda ao longo dos anos. E mesmo após a pandemia, esses valores não retornaram aos níveis observados em 2019 (Figura 4) (NTU, 2024).

Figura 4- Quilometragem produzida mensal (em milhões) (2013-2023). Sistemas de ônibus analisados: Belo Horizonte - MG, Curitiba - PR, Fortaleza - CE, Porto Alegre - RS, Rio de Janeiro - RJ, Salvador - BA e São Paulo - SP (Municipal), Goiânia - GO (Municipal e intermunicipal metropolitano) e Recife - PE (Municipal e intermunicipal metropolitano)

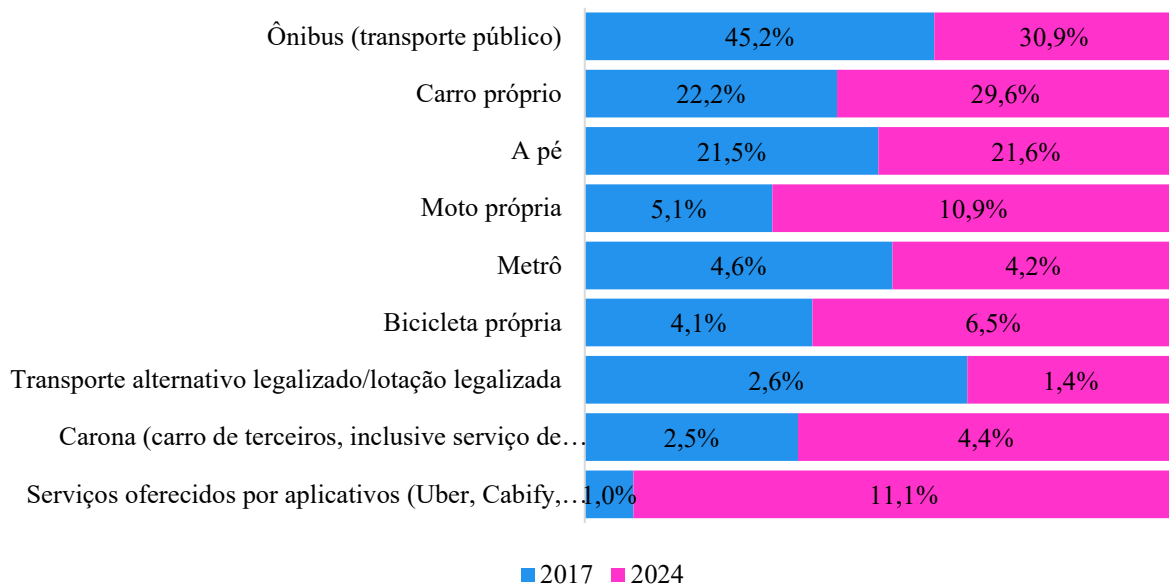


Fonte: NTU (2024). Adaptado.

Um importante fator que também influenciou a queda da demanda pelo transporte coletivo foi o crescimento do transporte clandestino, sobretudo a partir de meados da década de 1990 (Lessa, 2019). Bem como surgiram novas alternativas de mobilidade urbana, personalizadas às necessidades dos usuários e baseadas em aplicativos de *smartphones* sob demanda (*ride-sourcing*) (Andrade; Dourado; Souza Jr, 2022) como a Uber, fundada em 2009 (Mariano; Diaz, 2017). Tais aplicativos ganharam espaço por oferecer ao usuário um serviço de qualidade em que une, principalmente, preços atrativos e maior segurança, além de cobrir rotas não atendidas pelo transporte público (Brentini; Hirose, 2021).

No Brasil, o *ride-sourcing* foi introduzido em 2014, durante a Copa do Mundo e se popularizou em 2016 (Pasqual, 2019). Os primeiros lugares de acesso aos aplicativos foram o Rio de Janeiro, em seguida em São Paulo, Belo Horizonte e Brasília (Ferrara, 2020). A pesquisa da (CNT, 2017) identificou que os principais meios de transporte nos municípios com mais de 100 mil habitantes no início da era dos transportes por aplicativos eram ônibus (45,2%), carro próprio (22,2%), a pé (21,5%) e moto própria (5,5%). Já em 2024, esse cenário mudou para ônibus (30,9%), carro próprio (29,6%), a pé (21,6%) e serviços por aplicativo (11,1%). Observa-se que o uso de transporte por aplicativo aumentou de 1,0% em 2017 para 11,1% em 2024 (CNT, 2024) (Figura 5).

Figura 5 - Principais meios de transporte (2017 e 2024) utilizados em cidades com mais de 100 mil habitantes



Fonte: CNT (2017). Adaptado.

Além disso, o incremento de determinados hábitos de consumo (como *e-commerce*) e de trabalho (como regime de *home office*) também modificaram a forma e a frequência dos deslocamentos (CNT, 2023). Esse cenário se destaca principalmente durante a pandemia da COVID-19, quando houve maior implementação do teletrabalho em empresas e instituições (Baggi; Moreno Delgado, 2022), com o objetivo de limitar a interação humana e garantir o distanciamento social para impedir o contágio do vírus (Lavarini; Cordeiro; Almeida, 2020). Essas medidas resultaram na redução do uso de veículos particulares e de suas consequências, uma vez que a quantidade de deslocamentos reduziu para parte da população (Assakawa; Conti; Quaresma, 2022).

Em 2022, como estratégia para amenizar a crise do transporte público coletivo, foram intensificadas discussões na esfera política sobre alternativas de financiamento com recursos extratarifários (Carvalho; Lucas, 2023). Uma alternativa seria aprimorar impostos e taxas territoriais nos centros urbanos, assim como fortalecer a priorização do transporte coletivo em detrimento da taxaço do transporte sob demanda, por exemplo (Silva, 2022). Outras formas de financiamento poderiam ser através de recursos oriundos da União, como a venda de gasolina e a potencial taxaço da folha de pagamento, substituindo o vale-transporte, e cobrança pelo uso dos espaços públicos por veículos privados (Carvalho; Lucas, 2022).

No entanto, melhorar as políticas de transporte e desenvolvimento urbano e aumentar os investimentos em transporte público não são medidas suficientes para romper a trajetória

histórica de aumento do transporte individual e deterioração do transporte público (Pereira et al., 2021). Também são necessárias melhorias na qualidade da prestação dos serviços, (Nascimento; Lima, 2017), inclusive através de tecnologias (Oliveira; Moraes; Silva, 2022). Assim, para auxiliar no planejamento, controle e operação dos sistemas de transporte, surgem uma série de soluções tecnológicas chamadas *Intelligent Transportation Systems* (ITS), sendo as mais utilizadas a bilhetagem eletrônica, GPS e GTFS (ITDP Brasil, 2022).

A aplicação dessas tecnologias disponibilizam aos usuários dados sobre linhas de ônibus, seus trajetos, terminais e horários e atualizações sobre as ocorrências de atrasos (Nassar; Vieira, 2017). O conjunto desses sistemas também possibilita a identificação das viagens diárias dos usuários, através do ID do cartão, das coordenadas geográficas no momento da transição, e do modo de transporte utilizado (Majdoub, 2024). Nesse contexto, é de grande importância que secretarias de transporte municipais e estaduais desenvolvam sistemas de informações a partir de registros administrativos e pesquisas locais (Pereira et al., 2021).

No entanto, essas melhorias só podem ser alcançadas com a integração das tecnologias embarcadas nas frotas e na infraestrutura urbana já adicionada (Oliveira; Moraes; Silva, 2022). Há exemplo, um grande desafio relacionado à infraestrutura do sistema de transporte público coletivo é falta de corredores exclusivos (Kneib, 2022), para reduzir o tempo de viagem desses modos (Gitelman; Doveh, 2023). Além das vantagens de mobilidade, sistemas de trânsito rápido de ônibus são uma poderosa influência em atrair novo desenvolvimento econômico e crescimento sustentável ao longo de seus corredores e no entorno de suas estações (Bento et al., 2021).

Dessa forma, a função básica do transporte é integrar as áreas urbanas dos pontos de vista espacial, econômico, social e recreativo (Araújo et al., 2011). E embora haja o aumento expressivo da quantidade de cidades que subsidia o transporte público por ônibus nos últimos anos, é importante ressaltar que esse novo modelo de financiamento deve visar também a qualificação dos sistemas (NTU, 2022). Logo, a qualidade e a eficiência do transporte público nas cidades devem ser contempladas a partir de uma visão ampla do sistema de transporte e do ambiente urbano, e uma das formas de aprimorar essa qualidade é pela segurança, geralmente medida por índices de sinistros e taxas de violência (Ferraz et al., 2024). Tendo isso em vista, estudos na área oferecem subsídios valiosos para uma temática ainda pouco explorada, mas de significativa relevância nacional e global.

2.3 Sinistros de trânsito envolvendo ônibus: causas e consequências

Países em desenvolvimento estão associados a desafios de infraestrutura de vias e iluminação precárias (Tamakloe; Hong; Park, 2020), o que contribui para concentração sinistros de trânsito, principalmente nos estratos mais vulneráveis da população (Oliveira et al., 2022). Os ônibus são um dos principais veículos de transporte rodoviário de passageiros nesses países (Sha et al., 2022). Por isso, a segurança envolvendo esses veículos é relevante por razões como: a confiabilidade e a segurança do serviço, danos à propriedade e à imagem das empresas (Porcu et al., 2020) e equilíbrio financeiro dos custos das empresas, que já são caracterizadas por baixas receitas (Rahnama; Cortez; Monzon, 2024).

O transporte por ônibus é associado à maior segurança que outras opções motorizadas (García et al., 2024). O fato de serem maiores, mais visíveis, conduzidos por profissionais qualificados e de utilizarem velocidades comparativamente menores explicam o menor risco do envolvimento desses meios de transporte em sinistros (Ferraz et al., 2012). No entanto, suas características únicas de transporte também têm certas desvantagens em alguns casos (Ding et al., 2024). Logo, apesar de suas vantagens, ainda sim um número significativo de incidentes relacionados a esses veículos ocorre a cada ano (Rahnama; Cortez; Monzon, 2024).

Um sinistro de trânsito envolvendo ônibus geralmente afeta muitos passageiros (Shen et al., 2022), e por isso também afeta inevitavelmente muito mais famílias (Tamakloe et al., 2021). Ademais, as perdas materiais e as mortes causadas por esses eventos são significantes (García et al., 2024). Quando somadas a complexidade das redes rodoviárias urbanas, ao congestionamento de tráfego, ao número de pessoas e veículos envolvidos, ao escopo do sinistro e aos danos materiais, o prejuízo dos sinistros com ônibus são incalculáveis (Ding et al., 2024), além de que influenciam na decisão dos passageiros em de viajar ou não por esse modo (Rahnama; Cortez; Monzon, 2024).

Estudos sobre sinistros envolvendo especificamente veículos do tipo ônibus e micro-ônibus, conforme proposto no presente estudo, são limitados, e os fatores associados à gravidade desses incidentes precisam ser abordados (Mahikul et al., 2022). A segurança desse meio de transporte é afetada por vários fatores, como o humano, os veículos e o ambiente (Sha et al., 2022). Por exemplo, a gravidade dos sinistros de ônibus pode estar relacionada com elementos como a vulnerabilidade de pedestre, excesso de velocidade, período noturno, idade avançada dos

condutores, avanço de semáforo por condutores (Mello; Becker; Menezes, 2020), o clima e o local do incidente (Rahnama; Cortez; Monzon, 2024).

Os fatores humanos englobam motoristas e passageiros (Sha et al., 2022). Para os motoristas, esses fatores estão associados ao comportamentos de direção inseguros, como excesso de velocidade, avanço de sinal vermelho e dirigir sob influência de álcool (Ding et al., 2023). De igual modo, as condições de trabalho estressantes e fadiga dos motoristas profissionais também afeta seu comportamento de direção e sinistros de trânsito (Han; Zhao, 2020). E para os passageiros esses fatores estão associados ao não uso do cinto de segurança, que aumentam o risco de ferimentos e fatalidades (Nageswaran et al., 2024).

Os fatores relacionados ao veículo estão associados a elementos como a idade do ônibus, defeitos do motor (Mahikul et al., 2022), altura do centro de gravidade dos veículos, perfil e tamanho da estrutura do teto e sistema de frenagem (Sha et al., 2022). Ademais, empresas de ônibus tendem a desconsiderar o treinamento regular de funcionários para economizar em custos e investimento de capital para manutenção e substituição de veículos (Liou et al., 2022). Logo, os problemas da frota de ônibus também são relacionados principalmente a componentes de veículos que não estão funcionando de maneira ideal, como freios, rodas e equipamentos (Suraji; Djakfar; Wicaksono, 2021).

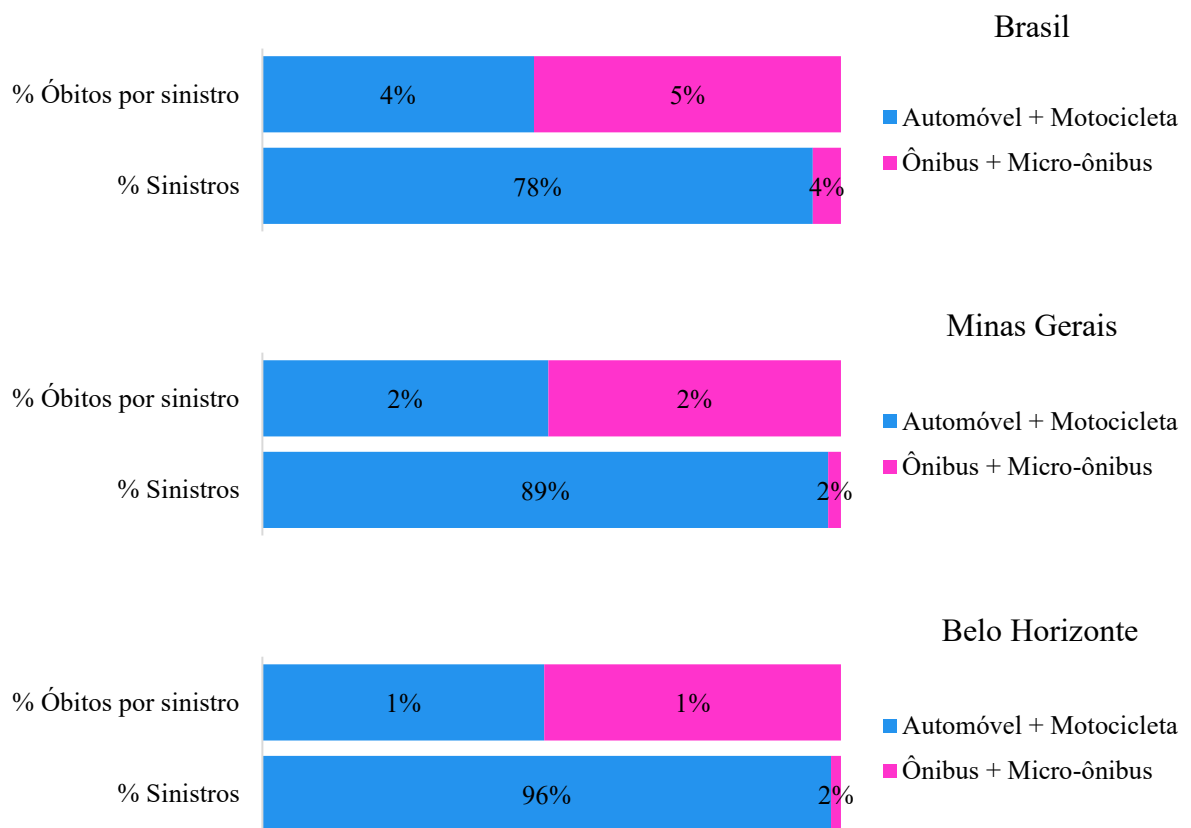
E em relação aos fatores do ambiente, elementos relacionados aos tipos de estradas como curvas, cruzamentos e rodovias sem estradas ou saída de acesso afetam a taxa de sinistros de ônibus (Mahikul et al., 2022). Além disso, há também as condições climáticas como chuva e neblina, as velocidades limitadas (Sha et al., 2022) e as condições de congestionamento das vias (Ding et al., 2023). E também as más condições de pavimentação e iluminação, que são uma das principais razões pelas quais os sinistros envolvendo esses tipos de veículos estão entre os mais fatais em países em desenvolvimento (Tamakloe et al., 2021).

A avaliação da segurança e do risco de sinistros envolvendo ônibus é pouco estudada na literatura, provavelmente pelo fato desse meio de transporte geralmente ser considerado mais seguro que outros veículos motorizados (Porcu et al., 2020). No entanto, o número e a gravidade dos sinistros de trânsito envolvendo ônibus estão aumentando anualmente (Ding et al., 2023). E por isso, reduzir o número de ferimentos graves causados por esses sinistros é uma preocupação para governos e administradores, principalmente em países em desenvolvimento e subdesenvolvidos (Sha et al., 2022).

Logo, apesar de ser considerado seguro viajar de ônibus, esse meio de transporte também apresenta fortes riscos (Tamakloe et al., 2021). No Brasil, a maior quantidade de sinistros por tipo de veículo entre 2018-2024 se concentra em automóveis (55,9%) e motocicletas (22,0%). No entanto a maior quantidade de óbitos por tipo de veículo se concentra em trens (17%) e carroças (12%) (Ministério dos Transportes, 2025). Logo, a quantidade de sinistros por determinado tipo de transporte, não necessariamente reflete a quantidade de óbitos, evidenciando a necessidade de análises sobre a gravidade de sinistros com diferentes modos.

Embora que no cenário nacional a maior quantidade de sinistros ocorra nos modos de transporte automóvel e motocicleta (78%) em comparação ao ônibus e micro-ônibus (4%), a quantidade de óbitos dos dois grupos é semelhante (5% para ônibus + micro-ônibus e 4% para automóveis + motocicletas). O mesmo comportamento acontece em Minas Gerais e Belo Horizonte (Ministério dos Transportes, 2025) (Figura 6). Dessa forma, a segurança dos ônibus também deve ser considerada como uma questão crítica, que afeta passageiros, operadores e governos e pode ter sérias repercussões (Rahnama; Cortez; Monzon, 2024).

Figura 6- Comparativo do percentual de sinistros e da quantidade de óbitos por sinistros por tipo de veículo no Brasil, em Minas Gerais e em Belo Horizonte (2018-2024)



Fonte: RENAEST (2024). Adaptado.

Para se avaliar a segurança viária, uma vez conhecida a natureza das variáveis, diferentes métodos estatísticos podem ser usados para analisar os dados e identificar a relação entre diferentes fatores que influenciam os sinistros (Rahnama; Cortez; Monzon, 2024). Os estudos existentes sobre sinistros de trânsito com ônibus utilizaram principalmente o método *logit* ordinal (ou *probit*) para analisar a probabilidade e a gravidade desses eventos (Kim; Hong, 2023). No entanto, um grande desafio para aplicação desses modelos é que os dados geralmente são incompletos e carecem de alguns fatores de risco de sinistros que potencialmente influenciam os resultados (Tamakloe et al., 2021).

Porcu et al. (2020) realizaram seu estudo na área metropolitana de Cagliari, na Itália, utilizando dados de 3.457 sinistros de ônibus entre 1997 e 2001. Os resultados mostraram que rotas de comprimento médio e aquelas com menos de duas faixas por direção apresentaram maior risco. Os ônibus padrão tiveram maior probabilidade de sinistros severos em comparação com ônibus médios. Rotas com calçadas largas apresentaram mais incidentes envolvendo pedestres. A introdução de estratégias de prioridade no tráfego reduziu a frequência e gravidade dos sinistros. As recomendações incluíram ajuste de rotas, uso de ônibus menores e maior coleta de dados para refinar o modelo.

Tamakloe, Hong e Park (2020) analisaram sinistros de ônibus na Coreia do Sul (2012-2016), destacando variações conforme o horário, estação, características dos motoristas e condições das vias. Pela manhã, ocorreram sinistros mais graves, enquanto à tarde prevaleceram os de maior tamanho. Condições climáticas adversas reduziram sinistros de grande porte, mas aumentaram os de veículo único. Motoristas jovens foram mais propensos a sinistros maiores, enquanto motoristas fatigados ou alcoolizados elevaram a gravidade. Direção negligente foi identificada como a principal causa de sinistros severos. Foi enfatizada a importância de políticas específicas, sinalização adequada e campanhas educativas para mitigar esses eventos.

Nguyen et al. (2021) estudaram os sinistros de trânsito envolvendo ônibus entre 2015 e 2019 em Herói, Vietnã. Os resultados revelam que o risco de gravidade aumenta para (1) ônibus grandes, (2) condições de chuva, (3) período noturno, (4) tráfego escasso, (5) áreas não urbanas, (6) estradas com pelo menos três faixas, (7) estradas curvas, (8) estradas de mão dupla sem barreira física, (9) colisão frontal e (10) sinistros relacionados a pedestres. Além de confirmar os papéis cruciais de uma ampla gama de fatores, esta pesquisa examinou os efeitos de dois determinantes (densidade do tráfego e área do sinistro) que não foram considerados para os casos de países em desenvolvimento anteriormente.

Em Gana, Damsere-Derry et al. (2021) estudaram os sinistros de trânsito envolvendo ônibus entre 2013 e 2017. Os resultados mostraram que pedestres, homens, motoristas sem licença e acima de 60 anos apresentavam maior risco de fatalidade. Excesso de velocidade, ultrapassagens perigosas e direção descuidada foram identificados como fatores críticos. Muitos ônibus usados eram adaptações inseguras de vans de entrega, sem cintos de segurança. A fiscalização deficiente e a busca por lucro incentivaram práticas de direção arriscadas. Motoristas inexperientes e fadiga noturna também aumentaram os riscos. Melhor infraestrutura, fiscalização rigorosa e veículos mais seguros foram recomendados.

Em seu estudo sobre sinistros de trânsito envolvendo ônibus e micro-ônibus em Gana, Tamakloe et al. (2021) identificaram que o bom tempo reduzia a severidade dos incidentes em 66% das observações. Acostamentos não asfaltados aumentaram o risco, enquanto separações medianas ajudaram, exceto em rodovias escuras. Estradas molhadas e curvas fechadas intensificaram a gravidade dos sinistros. Defeitos na direção aumentaram a severidade, enquanto iluminação reduziram. Fusão e ultrapassagem em vias ruins elevaram o risco, ao contrário de conversões e estacionamento fora da estrada. E motoristas jovens ou alcoolizados foram os mais propensos a sinistros fatais.

Mahikul et al. (2022) realizaram seu estudo sobre ônibus na Tailândia, analisando estradas inclinadas e condições no norte do país com dados de 2010 à 2019. Os motoristas que desrespeitaram regras de trânsito ou dirigiram embriagados tiveram maior probabilidade de causar fatalidades. Manobras bruscas, ultrapassagens e fadiga aumentaram a gravidade dos sinistros. Sinistros no pico da manhã ocorreram em velocidades mais altas, elevando o risco. Regiões montanhosas apresentaram taxas mais altas de fatalidades. Rodovias sem acesso, curvas, inclinações, aberturas medianas e cruzamentos também elevaram a severidade. O estudo recomendou campanhas de conscientização e melhorias na infraestrutura para mitigar os riscos.

Sha et al. (2022) estudaram os fatores contribuintes relacionados aos principais sinistros de ônibus na China entre 2010 e 2019. Os resultados identificaram sete níveis para os fatores contribuintes por trás de grandes sinistros de ônibus: regulamentações governamentais, influência organizacional, supervisão insegura, pré-condições para atos inseguros, atos inseguros de motoristas, causas próximas não relacionadas a motoristas e fatores moderadores que impactaram gravidade e probabilidade. A influência organizacional das empresas foi

destacada como o fator mais significativo. E recomendou-se que as empresas fortalecessem sua responsabilidade e gestão de segurança para prevenir sinistros.

Shen et al. (2022) analisaram sinistros de trânsito com ônibus no Reino Unido entre 2017 e 2019. Colisões de impacto frontal, estradas molhadas e limites de velocidade moderados elevaram a gravidade devido à heterocedasticidade. Colisões capotadas, com múltiplos veículos e matinais causaram variabilidade de limite. Ferimentos graves aumentaram com seções de estrada, impactos frontais, junção-saída e vias principais. Limites de velocidade baixos, rotatórias e colisões urbanas elevaram ferimentos leves. Fatores apresentaram efeitos inconsistentes entre ônibus e automóveis. O estudo sugeriu que autoridades considerem esses fatores para políticas que aprimorem a segurança de ônibus.

Ding et al. (2023) desenvolveram um estudo na China, utilizando dados da *Chongqing Liangjiang Public Transportation Co., Ltd.* referentes ao período de janeiro a junho de 2022. Três fatores principais influenciaram os sinistros: violações de regulamentos de segurança (27,9%), violações de especificações de serviço (20%) e violações operacionais de segurança (16,5%). Violações como dirigir embriagado, usar celulares e não realizar manutenções contribuíram para os sinistros. Problemas de instalações e equipamentos também aumentaram riscos. E a implementação de monitoramento, treinamento e educação sobre segurança foi recomendada para reduzir sinistros e melhorar a segurança no transporte público.

Kim e Hong (2023) analisaram sinistros com ônibus nas rodovias da Coreia do Sul entre 2012 e 2016. A gravidade em segmentos de pedágio e rampa aumentou em 20,75% e 11,56%, enquanto ferimentos diminuíram nesses locais. Sinistros entre veículos elevaram ferimentos em 19,4% e fatalidades em 5,2%. Ônibus pequenos elevaram a gravidade em 10,4%, médios a reduziram em 9,6%, e caminhões aumentaram a gravidade em 98,7%. Condições normais do motorista e idade de 30 anos elevaram sinistros leves em 13,3%. O AADT foi um fator relevante para aumentar a severidade de sinistros fatais e graves. Condições molhadas elevaram ferimentos graves, reforçando a necessidade de políticas específicas.

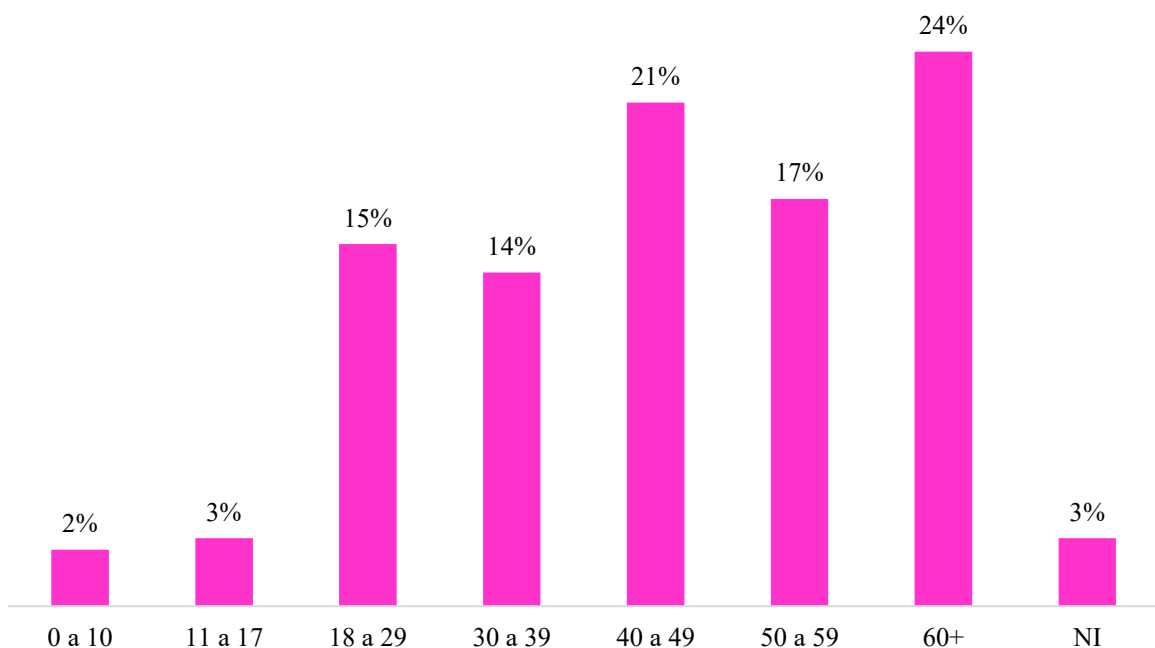
Rahnama, Cortez e Monzon (2024) pesquisaram os padrões de sinistros em serviços de ônibus de longa distância entre Madri e Bilbao entre 2019 e 2021. Os resultados mostraram que a frequência de sinistros diminuiu em 2020 devido às restrições da pandemia. “Manobra” foi a principal causa, seguida por “carros invadindo faixas” e “outras causas”. A análise identificou três grupos de sinistros associados às condições climáticas, com tempo chuvoso influenciando

todas as causas. O modelo *Hierarchical Ordered Logit* reforçou esses impactos, mostrando a relação entre clima e severidade dos sinistros. E a análise Kaplan-Meier destacou alto risco inicial nos primeiros dez dias, exigindo intervenções imediatas.

Enquanto na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Oliveira et al. (2022) avaliaram 13499 sinistros de trânsito com ônibus envolvendo 26854 pessoas entre 2012 e 2015. Destes, 2879 sinistros produziram vítimas, incluindo 49 óbitos. Os sinistros se concentraram nos grandes corredores urbanos e interurbanos, nos dias úteis, entre 15-20h, sendo mais frequentes colisões/abalroamentos e causas ligadas ao condutor. A gravidade das lesões foi maior nos atropelamentos do que em quedas ou choques/capotamentos, nas mulheres e em vítimas de baixa escolaridade.

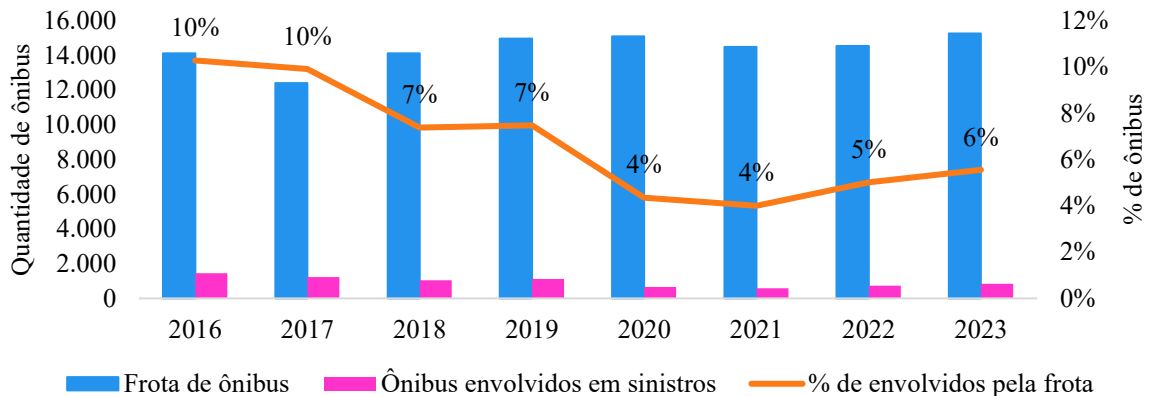
Além disso, o Relatório de Sinistros de Trânsito com Vítimas em Belo Horizonte analisou as vítimas ocupantes de ônibus em 2023. Delas, 72% correspondiam ao gênero feminino, 21% ao gênero masculino e 1% não informado. Além de que as faixas etárias mais atingidas foram as de 60+ (24%), 40 a 49 (21%) e 50 a 59 (17%) (Figura 7). Entre 2016 a 2023, enquanto o número de ônibus envolvidos em sinistros diminuiu, a frota de ônibus apresentou variações ao longo dos anos, sem uma tendência constante de redução ou aumento. A porcentagem de ônibus envolvidos em relação à frota também variou, com quedas significativas de 10% em 2016 e 2017 para 4% em 2020 e 2021, e uma leve alta para 6% em 2023 (Figura 8) (SUMOB, 2024).

Figura 7- Vítimas ocupantes de ônibus por faixa etária – 2023



Fonte: SUMOB (2024). Adaptado.

Figura 8- Número de ônibus envolvidos em sinistros de trânsito e frota registrada em Belo Horizonte (2016 a 2023)



Fonte: SUMOB (2024). Adaptado.

Dentre os sinistros envolvendo ônibus em de Belo Horizonte, um dos casos mais comentados foi o da linha 1505 (Alto dos Pinheiros / Tupi), que ocorreu na sexta-feira, 16 de julho de 1999, às 19:20. O incidente ocorreu em um cruzamento da Av. dos Andradas e rua Tupinambás com uma motocicleta e dois automóveis. Após uma colisão, o ônibus ficou desgovernado e despencou de uma altura de 15 metros até o leito do rio Arrudas (Folha de São Paulo; González; Peixoto, 1999). De acordo com o inquérito policial, o motorista não respeitou o sinal vermelho. Nove pessoas morreram na hora e 52 ficaram feridas – 51 passageiros e um pedestre que foi atropelado (G1, 2019). A Figura 9 mostra uma das manchetes mais recentes do ocorrido.

Figura 9- Notícia do sinistro de trânsito envolvendo ônibus que caiu no Rio Arrudas em 16 de julho de 1999

Fonte: (Rádio Itatiaia, 2024)

Recentemente, tem havido um interesse crescente em direcionar a segurança das operações de ônibus em todo o mundo, embora pouco se sabe sobre os determinantes da gravidade dos sinistros de ônibus em países em desenvolvimento (Nguyen et al., 2021). Por isso, o estudo da segurança dos ônibus precisa ser mais extenso, e as políticas de segurança precisam ser realizadas com base em modelos de probabilidade que considerem as características dos dados dos sinistros de ônibus (Kim; Hong, 2023). Além disso, o volume e a gravidade das lesões observadas justifica o desenvolvimento de medidas redutoras de risco para que as políticas de estímulo ao transporte por ônibus beneficiem os usuários (Oliveira et al., 2022)

2.4 Análise espacial de sinistros de trânsito

Estudos e análises com o viés espacial vêm se tornando cada vez mais comuns, por mérito da disponibilidade de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de baixo custo e com interfaces de fácil interpretação (Bressane, 2020). Esses sistemas são de grande importância para analisar a situação do transporte (Özcan; Küçükönder, 2020), já que a análise espacial é considerada uma técnica eficiente para identificação de trechos críticos de sinistros de trânsito (Aires, 2022). Com o auxílio de SIG, a análise espacial pode contribuir para o desenvolvimento de medidas preventivas mais eficientes sob esses incidentes (Kibar; Tuydes-Yaman, 2020). Druck et al. (2004) definem alguns conceitos básicos na análise espacial, a saber:

- **Dependência espacial:** é definida como a existência do relacionamento funcional entre o que acontece em um ponto no espaço e o que acontece em qualquer outro (Anselin, 1988). Tal fenômeno é associado à Primeira Lei da Geografia de Tobler (1970) em que “todos os objetos no espaço estão relacionados, porém objetos mais próximos no espaço estão mais relacionados”. Logo, a maior parte das ocorrências, sejam essas naturais ou sociais, apresentam entre si uma relação que depende da distância (Druck et al., 2004).
- **Autocorrelação espacial:** é a expressão computacional do conceito de dependência espacial, sendo que a autocorrelação espacial mede o nível de interdependência geográfica entre as variáveis e a natureza, bem como a força desse relacionamento (Lopes, 2005). O termo foi derivado do conceito estatístico de correlação, utilizado para mensurar o relacionamento entre duas variáveis aleatórias, sendo que a preposição ‘auto’ indica que a medida de correlação é realizada com a mesma variável aleatória, medida em locais distintos do espaço (Druck et al., 2004). Ela pode ser (i) positiva: quando há duas grandes aglomerações de células com valores semelhantes; (ii) negativa: quando cada célula está cercada, predominantemente por células diferentes; (iii) inexistente: quando há um padrão

indefinido no qual algumas células possuem vizinhos parecidos, outras possuem vizinhos diferentes e outras possuem os dois tipos de vizinhos, fazendo com que a autocorrelação aproxima-se de zero (Saboya; Kretzer, 2024).

- **Estacionalidade ou Isotropia:** a estrutura espacial dos dados envolve dois efeitos: o de 1ª ordem, que é a média esperada no espaço, e o de 2ª ordem, que mede a covariância entre áreas. O processo é considerado estacionário se os efeitos de 1ª e 2ª ordem são constantes, em toda a região estudada, ou seja, não há tendência. Um processo é isotrópico se, além de estacionário, a covariância depende somente da distância entre os pontos e não da direção entre eles (Druck et al., 2004).

Recentemente, vários métodos foram desenvolvidos para estudar a distribuição espacial de sinistros e identificar os pontos críticos desses incidentes para uma determinada região (Al-Omari et al., 2020). Na literatura existente, diversos modelos estatísticos são frequentemente usados para quantificar a associação entre os resultados dos sinistros e as variáveis explicativas disponíveis (Rahman; Jamal; Al-Ahmadi, 2020). De acordo com (Satria e Castro, 2016), algumas das técnicas de análise espacial em SIG mais usadas na literatura para analisar sinistros de trânsito são a Estimativa de Densidade Kernel (EDK) e o Índice de Moran (I de Moran), conforme detalhado a seguir.

2.4.1 Estimativa de Densidade Kernel (EDK)

Na análise espacial, para a identificação de zonas críticas, uma técnica bastante utilizada é a Estimativa de Densidade Kernel (EDK) ou KDE (*Kernel Density Estimation*) na sigla em inglês (Aires, 2022). A EDK é uma técnica não paramétrica de suavização de dados baseada em amostras finitas. Ela oferece uma forma simples de identificar padrões em conjuntos de dados sem a necessidade de assumir um modelo paramétrico (Scaldelai; Matioli; Santos, 2021). No caso de sinistros, a EDK localiza áreas quentes, ou seja, locais onde há maior densidade desses eventos (Valdez, 2021).

O princípio de análise da EDK é distribuir, com uma curva, o peso de um ponto em torno dele em uma certa área de influência inicialmente especificada (Legramanti, 2021). Para a execução do estimador, define-se uma vizinhança circular ao redor dos pontos amostrais, cuja área de influência é representada por uma função binária que varia de 1 (influência máxima) a 0 (fronteira) (Silva et al., 2020). A Equação (1) apresenta a fórmula matemática utilizada para cálculo da densidade (Linhares, 2021):

$$\hat{\lambda}_\tau(s) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} I\left(\frac{(s - s_i)}{\tau}\right) \quad (1)$$

Onde:

I = Função de distribuição de probabilidades. É escolhida de forma adequada para construir uma superfície contínua sobre os dados;

τ = Raio de influência

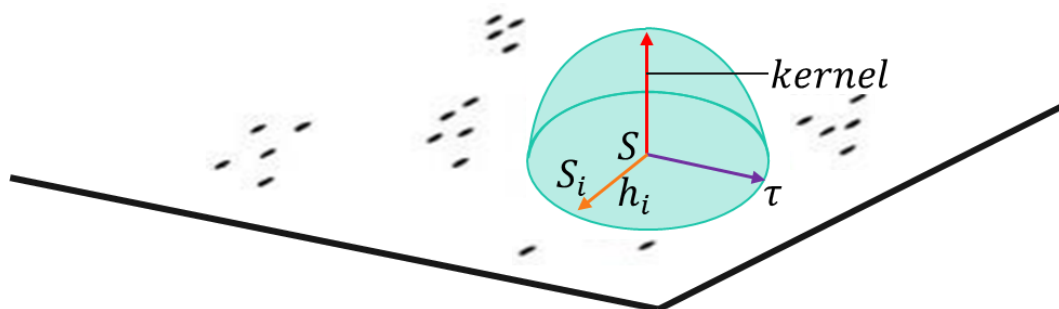
s = Ponto de estudo

s_i = Localização dos eventos observados

n = Número de eventos

O valor é mais alto na localização do evento em análise, até atingir o valor zero a uma distância especificada (raio) e no caso de uma sobreposição da curva de distribuição de um evento com outros, o valor no ponto da sobreposição é um valor cumulativo de duas ou mais curvas (Legramanti, 2021). De acordo com Druck et al. (2004), no contexto de sinistros de trânsito, o EDK realiza uma contagem de todos os sinistros ocorridos dentro de uma determinada área de influência, de raio T , e realiza a ponderação destes eventos pela distância de cada um em relação ao ponto de interesse (h_i), ou seja, a distância entre o ponto em que se deseja calcular a função (S) e o evento observado (S_i) (Figura 10).

Figura 10- Estimador de densidade Kernel (EDK)



Fonte: (Druck et al., 2004). Adaptado.

2.4.2 Índice de Moran Global (I de Moran) e Local Indicator of Spatial Association (LISA)

O I de Moran é um método estatístico elaborado para verificar a possibilidade de rejeitar a hipótese nula de que uma distribuição espacial é aleatória, em favor de uma hipótese alternativa de autocorrelação espacial dos dados (Anselin, 2020). De acordo com (Saboya; Kretzer, 2024),

o índice é uma medida de correlação semelhante à utilizada em análises estatísticas não espaciais, sendo que as principais diferenças são:

- O índice não trata (usualmente) de duas variáveis diferentes, como no caso da correlação tradicional, e sim de uma variável (por exemplo, renda) em cada unidade espacial e a mesma variável nas unidades espaciais vizinhas (por exemplo, a renda dos setores censitários vizinhos.) Daí a denominação de autocorrelação; e
- A covariância entre os dois valores é ponderada pela proximidade espacial, ao contrário da correlação tradicional, em que todos os pares de valores são considerados indistintamente. Na autocorrelação espacial, são considerados apenas os pares de valores entendidos como vizinhos e, dentre estes, dependendo do modo como a matriz de vizinhança e pesos espaciais foi criada, é possível dar maior peso aos vizinhos mais próximos e menor peso aos vizinhos mais distantes.

O resultado do I de Moran pode variar entre -1 e 1, em que -1 representa um padrão de dispersão perfeita e 1 representa uma clusterização perfeita da distribuição espacial dos dados. Resultados que tendem a 0 e/ou sem a significância estatística desejada demonstram um comportamento de aleatoriedade na distribuição espacial (Santos; Oviedo-Trespalacios; Bastos, 2023). O I de Moran é calculado a partir da Equação ((2)).

$$I = \frac{n}{W} * \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

Onde:

n = Tamanho da amostra

w_{ij} = Matriz de pesos espaciais que representa a relação geográfica entre os pontos

W = Soma de todos os w_{ij}

x = variável de interesse, indexada pelas coordenadas i e j

\bar{x} = média de x

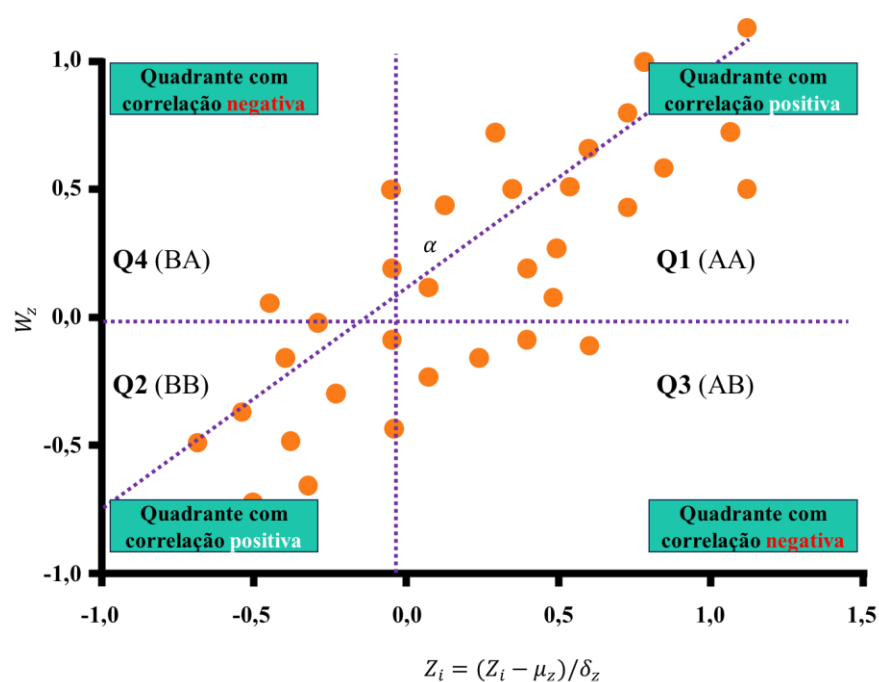
O I de Moran mede a autocorrelação espacial, variando de -1 a 1, mas seu valor isolado não revela a significância estatística, já que mesmo distribuições aleatórias podem gerar valores próximos de zero, levemente positivos ou negativos (Saboya; Kretzer, 2024). Ou seja, uma vez calculado, é importante estabelecer sua validade estatística (Druck et al., 2004), verificando se o valor obtido é mesmo significativo ou apenas um acaso (Assumpção et al., 2023).

Para tanto, é preciso associar ao índice uma distribuição estatística, sendo comum relacionar a estatística do teste à distribuição normal (Marconato; Larocca; Quintanilha, 2012). Ou, para estimar a significância do I de Moran sem pressupostos em relação à distribuição, pode-se realizar um teste de pseudossignificância, que consiste na geração de um determinado número de permutações, distintas entre si, dos valores de atributos associados às áreas (Luzardo; Filho; Rubim, 2017).

Como apenas um dos arranjos corresponde à situação observada, pode-se construir uma distribuição empírica de I (Druck et al., 2004), se o valor do índice I, medido originalmente, corresponder a um “extremo” da distribuição simulada, então, tratar-se-á de um valor com significância estatística (Marconato; Larocca; Quintanilha, 2012). Isso indica que o resultado obtido é atípico em relação à distribuição simulada e, portanto, há evidências de autocorrelação espacial nos dados analisados (Assumpção et al., 2023).

Outra análise a ser realizada é a correlação espacial por meio do diagrama de Moran, também conhecido como Moran *Scatterplot* (Figura 11) (Assumpção et al., 2023). O objetivo do diagrama é proporcionar os elementos necessários para a comparação dos valores normalizados do atributo, em cada área, com a média dos seus vizinhos, construindo um gráfico bidimensional de $[z]$ (valores normalizados) por $[Wz]$ (média dos vizinhos), dividido em quatro quadrantes, onde cada ponto representa uma área (polígono) (Luzardo; Filho; Rubim, 2017).

Figura 11- Moran Scatterplot



Fonte: (Druck et al., 2004). Adaptado.

O diagrama é construído com base nos valores normalizados da variável, ou seja, os valores originais subtraídos do valor médio global, divididos pelo desvio-padrão (Luzardo; Filho; Rubim, 2017). É um gráfico bivariado em que o índice de Moran é representado como a inclinação de uma reta de regressão (Mosquera, 2018). Assim, quanto mais próximo da reta estabelecida (quadrantes Q1 e Q2) entende-se que a associação espacial entre os dados é positiva, enquanto que dados em quadrantes aos quais a reta não pertence (quadrantes Q3 e Q4) indica associação espacial negativa (Naizer, 2018).

Indicadores globais de autocorrelação espacial fornecem valores como medidas de associação espacial para todo o conjunto de dados, o que é útil na caracterização de regiões de estudo como um todo (Luzardo; Filho; Rubim, 2017). Contudo, em áreas numerosas, podem surgir diferentes regimes de associação e máximos locais de autocorrelação, em que a dependência espacial é ainda mais pronunciada (Druck et al., 2004). Assim, a versão local do I de Moran é conhecida como *Local Indicator of Spatial Association* (LISA) (Saboya; Kretzer, 2024).

O LISA é uma ferramenta de autocorrelação espacial que permite testar localmente e detectar objetos espaciais com influência, avaliando a covariância entre um determinado polígono e uma certa vizinhança definida em função de uma distância d (Silva, 2020). Ou seja, ele mede a heterogeneidade da amostra (Silva et al., 2020) e suas principais aplicações são a identificação de *clusters* e o rastreamento de *outliers* espaciais (Oliveira et al., 2023). Sua fórmula representa a contribuição de cada unidade espacial para a somatória que resulta no índice global (Anselin, 2023) ((3)).

$$I_i = \frac{\sum_j w_{ij} * z_i * z_j}{\sum_i z_i^2} \quad (3)$$

Onde:

$z_i = x_i - \bar{x}$, ou seja, o quanto o valor da variável na unidade espacial i é diferente da média da variável

- x_i = valor de cada observação da variável x na unidade espacial i
- \bar{x} = média das observações da variável x em todas as unidades espaciais

$z_j = x_j - \bar{x}$, idem para a unidade espacial j

- x_j = valor de cada observação da variável x na unidade espacial j

w_{ij} = peso espacial entre as unidades espaciais i e j . Nessa matriz, o peso é igual a 0 se as unidades não são consideradas vizinhas e é diferente de 0 se forem consideradas vizinhas.

O LISA resulta em cinco *hotposts*: não significativo, agrupamento *high-high*, *outlier high-low*, *outlier low-high* e agrupamento *low-low* (Bressane, 2020). Em cada área calcula-se o índice local e permuta-se aleatoriamente o valor das demais áreas, até se obter uma pseudodistribuição que possibilita computar os parâmetros de significância (Marconato; Larocca; Quintanilha, 2012). Um p-valor é gerado contando quantos scores dos cenários aleatórios são iguais ou maiores do que o score do cenário analisado e, em seguida, dividindo esse valor pelo total de cenários (os aleatórios mais o original) (Saboya; Kretzer, 2024).

2.4.3 Ambiente construído e sinistros de trânsito

Destaca-se que grande parte das análises espaciais reconhecem que todos os locais têm um grau intrínseco de singularidade devido a sua posição em relação ao restante do sistema espacial (Bressane, 2020). No entanto, eles são incapazes de capturar a heterogeneidade espacial latente com precisão (Rahman; Jamal; Al-Ahmadi, 2020), já que há uma relação entre o ambiente construído e a segurança no trânsito (Hu et al., 2020). Tendo isso em vista, recentemente, as pesquisas sobre melhorias na segurança viária estão se direcionando para a investigação da relação entre o ambiente construído - isto é, padrões de uso do solo; desenho urbano; e sistemas de transporte - e sinistralidade (Machado, 2017).

A análise do ambiente construído examina como os aspectos físicos das cidades — como o traçado das vias, a infraestrutura viária e o uso do espaço urbano — influenciam diretamente os padrões de mobilidade e a ocorrência de sinistros de trânsito, revelando a conexão entre planejamento urbano e segurança viária (Valdez, 2021). Várias características do ambiente construído são preditores significativos de sinistros e as relações entre essas características e a segurança do tráfego variam ao longo do espaço (Obelheiro et al., 2020). Elementos geralmente utilizados são a rede viária, interseções, características do uso do solo (residencial, comercial, industrial) e grau de desenvolvimento (densidade populacional e de emprego) (Hu et al., 2020).

O nível de modelagem agregado as variáveis são frequentemente relacionadas ao nível de zonas de tráfego (ZT) (Gomes et al., 2015). Em estudos em nível de área, atributos como densidade populacional, uso do solo e/ou padrões de deslocamento são frequentemente incluídos em modelos multivariados (Miranda-Moreno; Morency; El-Geneidy, 2011). De acordo com Obelheiro et al. (2020), existem cinco principais dimensões do ambiente construído em um nível zonal que estão relacionadas a sinistralidade no trânsito, sendo elas: (i) densidade; (ii) diversidade; (iii) projeto; (iv) acessibilidade ao destino; e (v) distância ao transporte público.

A densidade é geralmente medida como densidade populacional (Obelheiro et al., 2020), já que essas características locais têm efeitos perceptíveis em sinistros de trânsito (Rahman; Jamal; Al-Ahmadi, 2020). Uma maior densidade populacional pode aumentar a probabilidade de sinistros (Kim; Pant; Yamashita, 2010). Em Austin, Wang e Kockelman (2013) destacaram que a densidade populacional foi positivamente correlacionadas com o número de sinistros de trânsito envolvendo pedestres. Enquanto em Montreal, Miranda-Moreno, Morency e El-Geneidy (2011) concluíram que um conjunto de variáveis, incluindo a densidade populacional, nas proximidades de um cruzamento aumentaram a frequência de colisões em cerca de 45%.

No que diz respeito à diversidade, uma mistura mais diversificada de uso do solo está associada a um maior número de sinistros (Obelheiro et al., 2020). Em Hankou, áreas comerciais, que atraem mais pedestres e veículos, têm maior frequência de sinistros, especialmente perto de grandes centros comerciais (Qu et al., 2021). Enquanto na China, os usos do solo residencial, comercial e empresarial urbano e residencial-comercial misto tiveram maior risco de ocorrência de sinistros graves (Xie et al., 2019). Assim como em Rawalpindi, em que locais de uso misto, como perto de hospitais, escolas, serviços de transporte público e aeroportos, também aumentavam a chance de ocorrência desses eventos (Butt et al., 2017).

No projeto, cruzamentos significam mais conflitos, mas também interrupções mais frequentes de longos trechos de estradas, o que pode inibir o excesso de velocidade (Obelheiro et al., 2020). Em Nova Iguaçu, Valdez (2021) identificou que áreas de cruzamentos e área comercial e urbana apresentaram maior risco de sinistro. Butt et al. (2017), em Rawalpindi, destacou que locais críticos de sinistros foram em rodovias de alta velocidade, curvas em U perigosas, cruzamentos complexos e vias movimentadas e congestionadas. Enquanto Rahman, Jamal e Al-Ahmadi (2020), em Dammam, concluíram que em houve alta concentração de sinistros em cruzamentos principais congestionados com alta densidade populacional nas áreas circundantes.

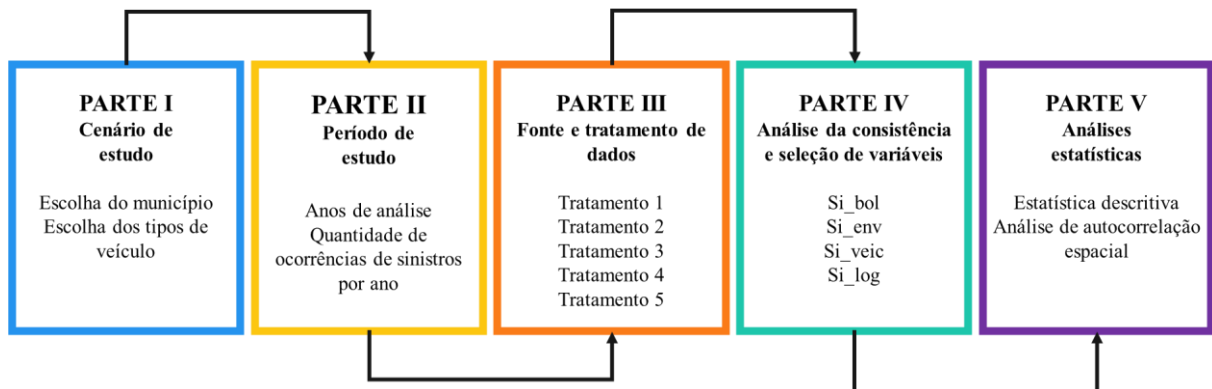
A acessibilidade ao destino diz respeito à facilidade de acesso entre bens, pessoas e atividades (Silva, 2017). Ela é medida pela proximidade com centros urbanos e associa-se a maior número de sinistros totais, embora com menor ocorrência de fatalidades (Obelheiro et al., 2020). A acessibilidade aos destinos pode ser avaliada através de variáveis candidatas indicando a presença de pontos de atração, como escolas, bancos, hospitais, bibliotecas e shoppings (Cervero et al., 2009). Em seu estudo no Havaí, Kim et al. (2012) percebeu que a distância ao centro da cidade e áreas mais próximas ao centro da cidade estavam associadas a mais sinistros totais e menos sinistros fatais.

Já a distância até o transporte público é geralmente medida pelo número de pontos de ônibus ou pela densidade de pontos de ônibus, sendo que mais sinistros podem ser esperados nessas áreas (Obelheiro et al., 2020), visto que há grande circulação de pessoas e veículos (Aires, 2022). Em Rawalpindi há maior risco de lesões em sinistros próximos à pontos de ônibus (Butt et al., 2017). Bem como em Montreal a maior atividades de pedestres perto de locais comerciais, estações de ônibus e metrô contribuíram para o aumento de sinistros (Miranda-Moreno; Morency; El-Geneidy, 2011). Enquanto em Seattle, Chen e Zhou (2016), reforçam o aumento do risco de atropelamentos em áreas com alta densidade de paradas de ônibus.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia aplicada neste trabalho. Para isso, serão realizadas as seguintes etapas metodológicas: (1) Cenário de estudo; (2) Período de estudo; (3) Fonte e tratamento de dados; (4) Seleção de dados a serem considerados no estudo; e (5) Análises estatísticas. As cinco etapas metodológicas foram apresentadas no fluxograma da Figura 12 e detalhadas nas subseções seguintes.

Figura 12- Etapas Metodológicas do Trabalho



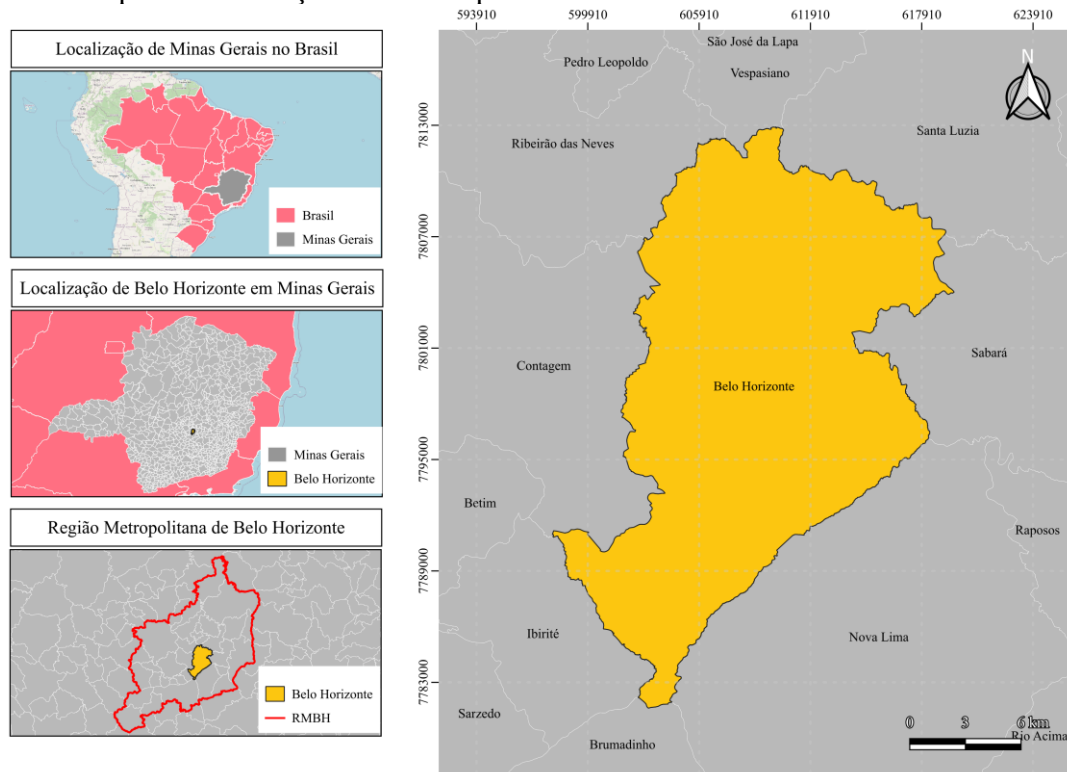
Fonte: Elaboração própria.

3.1 Cenário de Estudo

Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, foi definida como recorte espacial de estudo nesta pesquisa. A cidade possui uma população de 2.315.660 habitantes, distribuída em uma área de 331,354 km², resultando em uma densidade demográfica de 6.988,18 pessoas por quilômetro quadrado (IBGE, 2022). Sua infraestrutura urbana e sua importância econômica tornam Belo Horizonte um centro estratégico para análises regionais, facilitando estudos sobre desenvolvimento e planejamento urbano.

A região metropolitana da capital mineira é composta por 34 municípios, incluindo Betim, Contagem, Confins, Ribeirão das Neves, Nova Lima, entre outros. Dentre esses, Belo Horizonte faz fronteira com oito cidades: Contagem, Ribeirão das Neves, Vespasiano, Santa Luzia, Sabará, Nova Lima, Brumadinho e Ibirité (IBGE, 2022). A Figura 13 ilustra sua localização geográfica, destacando sua conexão com os municípios vizinhos e sua influência na dinâmica regional.

Figura 13- Mapa de localização do município de Belo Horizonte



Fonte: Elaboração própria.

A escolha de Belo Horizonte como recorte espacial de estudo foi baseada na disponibilidade e qualidade de dados abertos de Registro de Evento de Defesa Social (REDS) de sinistros disponíveis no site do município (Prefeitura de Belo Horizonte, 2024). Ademais, o município também oferece uma variedade de dados georreferenciados por meio da plataforma BHMap, o que facilita a integração e a análise espacial das informações (Prefeitura de Belo Horizonte, 2025).

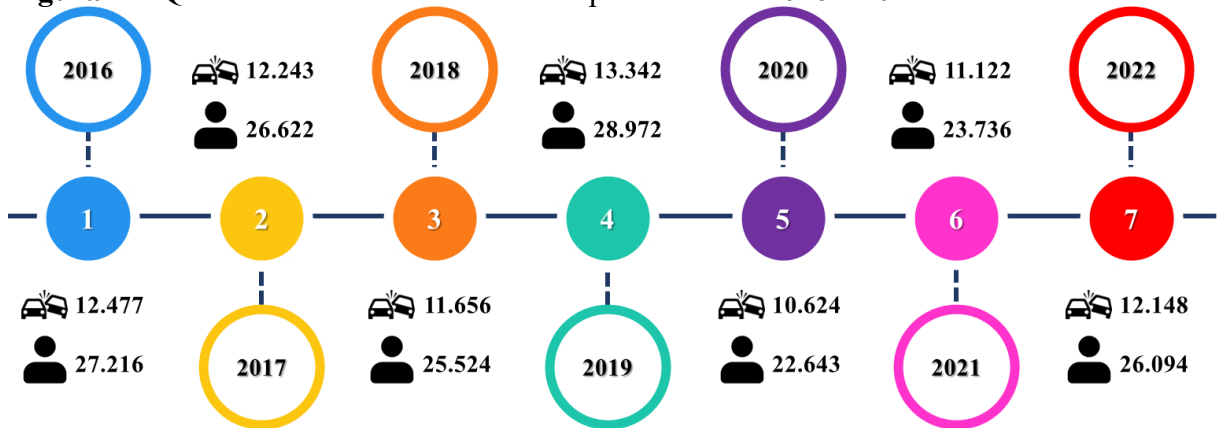
Os sinistros registrados envolveram 26 tipos de veículos, incluindo automóveis, bicicletas, caminhões, motocicletas, entre outros. Apesar da diversidade, este estudo focou apenas em ocorrências envolvendo ônibus e micro-ônibus. Essa delimitação busca compreender melhor o impacto desses veículos nos incidentes registrados. Os dados analisados foram obtidos dos registros da Prefeitura de Belo Horizonte (2024).

A escolha desses tipos de veículos se deu devido à importância do transporte coletivo para a mobilidade urbana, sendo essencial para redução de congestionamentos e capaz de proporcionar o deslocamento de pessoas de diversas áreas a um baixo custo. Além de que os sinistros de trânsito envolvendo esses tipos de veículos geram um maior número de pessoas afetadas, bem como maiores danos causados às infraestruturas urbanas, quando comparação a outros tipos de veículos.

3.2 Período de Estudo

Os dados históricos de sinistros disponibilizados pelo site do município até a presente data desse estudo abrangem um período de 12 anos, de 2011 a 2022 (Prefeitura de Belo Horizonte, 2024). Entretanto, este estudo considera apenas os registros dos últimos sete anos, de 2016 a 2022, devido à padronização da metodologia de coleta a partir de 2016. Essa padronização garante maior uniformidade e permite uma análise comparável dos dados ao longo do período selecionado. A Figura 14 apresenta a quantidade de ocorrências de sinistros e o número de envolvidos entre 2016 e 2022.

Figura 14- Quantidade de dados de sinistros por ano entre 2016 e 2022 em Belo Horizonte



Fonte: Elaboração própria.

3.3 Fonte e Tratamento de dados

A série histórica de dados de ocorrências de sinistros da Prefeitura de Belo Horizonte (2024) foi coletada em arquivos em formato *xlsx*. Neles, os dados são dispostos em quatro bases de dados: dados gerais do boletim (Si_Bol); dados gerais dos envolvidos (Si_Env), dados gerais dos logradouros do local do acidente (Si_Log), e dados gerais dos veículos envolvidos (Si_Veic). O ANEXO A mostra a descrição desses dados.

Embora haja uma variedade de tipos de dados disponíveis para cada base, o preenchimento dos mesmos não é completo para cada sinistro. Alguns parâmetros são negligenciados, tornando-se inaproveitáveis para análises estatísticas. A Tabela 4, Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7 mostram a quantidade de dados disponíveis para cada tipo de dados e cada base de dado disponível.

Tabela 4- Descrição de quantidade de dados por tipo de dados da tabela Si Bol

Si_Bol- Tipos de dados	2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
numero_boletim	12477	100,0%	12243	100,0%	11656	100,0%	13342	100,0%	10624	100,0%	11122	100,0%	12148	100,0%
datahora_boletim	12477	100,0%	12243	100,0%	11656	100,0%	13342	100,0%	10624	100,0%	11122	100,0%	12148	100,0%
data_inclusao	12477	100,0%	12243	100,0%	11656	100,0%	13342	100,0%	10624	100,0%	11122	100,0%	12148	100,0%
tipo_acidente	12477	100,0%	12243	100,0%	11656	100,0%	13342	100,0%	10624	100,0%	11122	100,0%	12148	100,0%
desc_tipo_acidente	12477	100,0%	12243	100,0%	11656	100,0%	13342	100,0%	10624	100,0%	11122	100,0%	12148	100,0%
cod_tempo	5396	43,2%	5354	43,7%	5196	44,6%	6275	47,0%	5932	55,8%	5173	46,5%	5368	44,2%
desc_tempo	5396	43,2%	5354	43,7%	5196	44,6%	6275	47,0%	5932	55,8%	5173	46,5%	5368	44,2%
cod_pavimento	5428	43,5%	5416	44,2%	5253	45,1%	6351	47,6%	5962	56,1%	5117	46,0%	5452	44,9%
pavimento	5428	43,5%	5416	44,2%	5253	45,1%	6351	47,6%	5962	56,1%	5117	46,0%	5452	44,9%
cod_regional	11731	94,0%	11794	96,3%	11303	97,0%	12841	96,2%	10074	94,8%	10507	94,5%	11717	96,5%
desc_regional	11731	94,0%	11794	96,3%	11303	97,0%	12841	96,2%	10074	94,8%	10507	94,5%	11717	96,5%
origem_boletim	12396	99,4%	12152	99,3%	11656	100,0%	13286	99,6%	10600	99,8%	11086	99,7%	12089	99,5%
local_sinalizado	12314	98,7%	12243	100,0%	11656	100,0%	13343	100,0%	10624	100,0%	11122	100,0%	12148	100,0%
velocidade_permitida	145	1,2%	550	4,5%	626	5,4%	732	5,5%	605	5,7%	434	3,9%	450	3,7%
coordenada_x	11185	89,6%	11095	90,6%	10420	89,4%	11890	89,1%	9661	90,9%	10162	91,4%	11206	92,2%
coordenada_y	11185	89,6%	11095	90,6%	10420	89,4%	11890	89,1%	9661	90,9%	10162	91,4%	11206	92,2%
hora_informada	12477	100,0%	12243	100,0%	11656	100,0%	13342	100,0%	10624	100,0%	11122	100,0%	12148	100,0%
indicador_fatalidade	12477	100,0%	12243	100,0%	11656	100,0%	13342	100,0%	10624	100,0%	11122	100,0%	12148	100,0%
valor_ups	164	1,3%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
descrição_ups	164	1,3%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
data_alteracao_smsa	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
valor_ups_antiga	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
descrição_ups_antiga	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%

Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2024). Adaptado.

Tabela 5- Descrição de quantidade de dados por tipo de dados da tabela Si Env

Si_Env- Tipos de Dados	2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
Nº_boletim	27216	100,0%	26622	100,0%	25524	100,0%	28972	100,0%	22643	100,0%	23736	100,0%	26094	100,0%
data_hora_boletim	27216	100,0%	26622	100,0%	25524	100,0%	28972	100,0%	22643	100,0%	23736	100,0%	26094	100,0%
Nº_envolvido	27216	100,0%	26622	100,0%	25524	100,0%	28972	100,0%	22643	100,0%	23736	100,0%	26094	100,0%
condutor	27212	100,0%	26622	100,0%	25524	100,0%	28972	100,0%	22643	100,0%	23736	100,0%	26094	100,0%
cod_severidade	25764	94,7%	25222	94,7%	24193	94,8%	27779	95,9%	21995	97,1%	23290	98,1%	25306	97,0%
desc_severidade	25764	94,7%	25222	94,7%	24193	94,8%	27779	95,9%	21995	97,1%	23290	98,1%	25306	97,0%
sexo	26025	95,6%	25399	95,4%	24433	95,7%	28020	96,7%	22078	97,5%	22964	96,7%	25341	97,1%
cinto_seguranca	26912	98,9%	26622	100,0%	25524	100,0%	28972	100,0%	22643	100,0%	23736	100,0%	26094	100,0%
Embregues	24741	90,9%	24528	92,1%	23602	92,5%	26966	93,1%	21325	94,2%	22042	92,9%	24206	92,8%
Idade	25141	92,4%	24484	92,0%	23577	92,4%	26942	93,0%	21363	94,3%	22064	93,0%	24455	93,7%
nascimento	25207	92,6%	24071	90,4%	23355	91,5%	26790	92,5%	21139	93,4%	21319	89,8%	23535	90,2%
categoria_habilitacao	94	0,3%	13810	51,9%	16889	66,2%	19101	65,9%	16092	71,1%	15971	67,3%	16722	64,1%
descricao_habilitacao	94	0,3%	13810	51,9%	16889	66,2%	19101	65,9%	16092	71,1%	15971	67,3%	16722	64,1%
declaracao_obito	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
cod_severidade_antiga	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
especie_veiculo	27216	100,0%	26622	100,0%	25524	100,0%	28972	100,0%	22643	100,0%	23736	100,0%	26094	100,0%
pedestre	27053	99,4%	26619	100,0%	24929	97,7%	26654	92,0%	20489	90,5%	21476	90,5%	26094	100,0%
passageiro	27078	99,5%	26620	100,0%	24980	97,9%	26761	92,4%	20598	91,0%	21571	90,9%	26094	100,0%

Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2024). Adaptado.

Tabela 6- Descrição de quantidade de dados por tipo de dados da tabela Si Log

Si_Veic- Tipos de Dados	2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
Nº_boletim	16392	100,0%	16072	100,0%	15253	100,0%	17576	100,0%	14181	100,0%	14438	100,0%	15550	100,0%
data_boletim	16392	100,0%	16072	100,0%	15253	100,0%	17576	100,0%	14181	100,0%	14438	100,0%	15550	100,0%
Nº_municipio	16392	100,0%	16072	100,0%	15253	100,0%	17576	100,0%	14181	100,0%	14438	100,0%	15550	100,0%
nome_municipio	16392	100,0%	16072	100,0%	15253	100,0%	17576	100,0%	14181	100,0%	14438	100,0%	15550	100,0%
seq_logradouros	16392	100,0%	16072	100,0%	15253	100,0%	17576	100,0%	14181	100,0%	14438	100,0%	15550	100,0%
Nº_logradouro	16392	100,0%	16072	100,0%	15253	100,0%	17576	100,0%	14181	100,0%	14438	100,0%	15550	100,0%
tipo_logradouro	16392	100,0%	16072	100,0%	15253	100,0%	17576	100,0%	14181	100,0%	14438	100,0%	15550	100,0%
nome_logradouro	16392	100,0%	16072	100,0%	15253	100,0%	17576	100,0%	14181	100,0%	14438	100,0%	15550	100,0%
tipo_logradouro_anterior	8429	51,4%	8189	51,0%	10322	67,7%	11840	67,4%	9524	67,2%	9901	68,6%	10754	69,2%
nome_logradouro_anterior	8429	51,4%	8189	51,0%	10322	67,7%	11840	67,4%	9524	67,2%	9901	68,6%	10754	69,2%
Nº_bairro	16371	99,9%	16072	100,0%	15253	100,0%	17576	100,0%	14181	100,0%	14438	100,0%	15550	100,0%
nome_bairro	16371	99,9%	16072	100,0%	15253	100,0%	17576	100,0%	14181	100,0%	14438	100,0%	15550	100,0%
tipo_bairro	16371	99,9%	16072	100,0%	15253	100,0%	17576	100,0%	14181	100,0%	14438	100,0%	15550	100,0%
descricao_tipo_bairro	16371	99,9%	16072	100,0%	15253	100,0%	17576	100,0%	14181	100,0%	14438	100,0%	15550	100,0%
Nº_imovel	8792	53,6%	8435	52,5%	7787	51,1%	8827	50,2%	6859	48,4%	7496	51,9%	8436	54,3%
Nº_imovel_proximo	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%

Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2024). Adaptado.

Tabela 7- Descrição de quantidade de dados por tipo de dados da tabela Si Veic

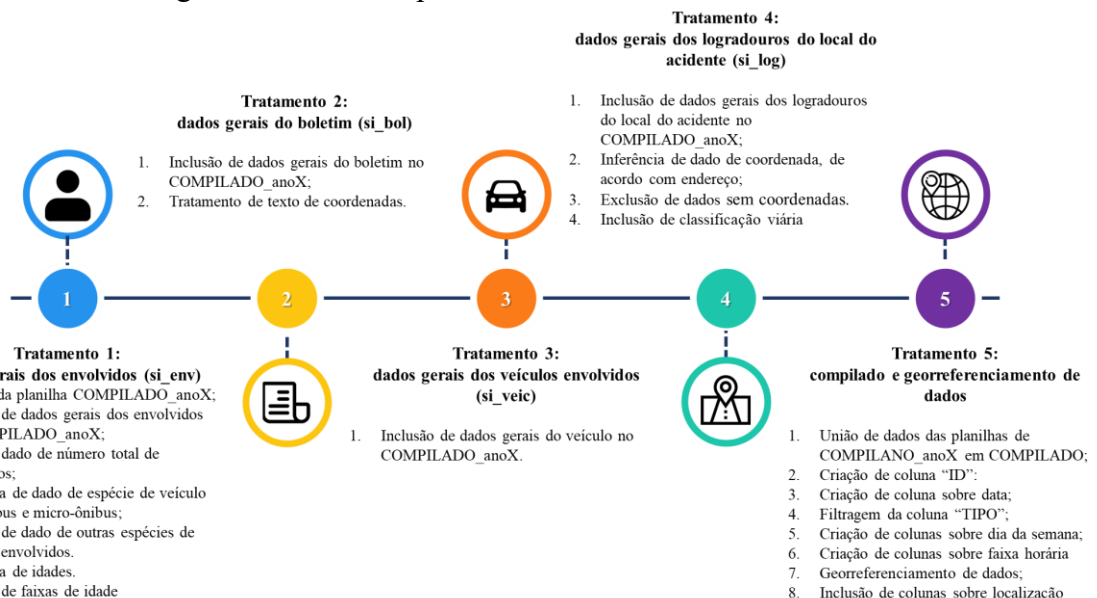
Si_Veic- Tipos de Dado	2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
Nº_boletim	22212	100,0%	22012	100,0%	31133	147,3%	24469	100,0%	19494	100,0%	20506	100,0%	22310	100,0%
data_hora_boletim	22212	100,0%	22012	100,0%	31133	147,3%	24469	100,0%	19494	100,0%	20506	100,0%	22310	100,0%
seq_veic	22212	100,0%	22012	100,0%	31133	147,3%	24469	100,0%	19494	100,0%	20506	100,0%	22310	100,0%
cod_categoria	19971	89,9%	19812	90,0%	19902	94,2%	23325	95,3%	18761	96,2%	19617	95,7%	21189	95,0%
descricao_categoria	19971	89,9%	19812	90,0%	19902	94,2%	23325	95,3%	18761	96,2%	19617	95,7%	21189	95,0%
cod_especie	22034	99,2%	21802	99,0%	20857	98,7%	24323	99,4%	19426	99,7%	20434	99,6%	22120	99,1%
descricao_especie	22034	99,2%	21802	99,0%	20857	98,7%	24323	99,4%	19426	99,7%	20434	99,6%	22120	99,1%
cod_situacao	21491	96,8%	21448	97,4%	21053	99,6%	24432	99,8%	19485	100,0%	20492	99,9%	22298	99,9%
desc_situacao	21491	96,8%	21448	97,4%	21053	99,6%	24432	99,8%	19485	100,0%	20492	99,9%	22298	99,9%
tipo_socorro	195	0,9%	943	4,3%	18391	87,0%	22386	91,5%	18006	92,4%	18974	92,5%	19960	89,5%
desc_tipo_socorro	195	0,9%	943	4,3%	18391	87,0%	22386	91,5%	18006	92,4%	18974	92,5%	19960	89,5%

Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2024). Adaptado.

Os dados das quatro bases foram processados e integrados em um único banco no formato xlsx, consolidando informações das diferentes bases. Cada ano foi tratado separadamente (COMPILADO_anoX) antes da unificação em uma planilha única (COMPILADO). E com o uso de coordenadas de latitude e longitude, foi possível aprimorar a análise espacial dos sinistros.

A partir do geoprocessamento, foi gerado um arquivo *shapefile* no software QGIS 3.34, permitindo a visualização georreferenciada dos eventos. Esse processo possibilitou a associação das ocorrências com sua localização, enriquecendo as interpretações dos dados. A metodologia dessas etapas está detalhada na Figura 15 e será descrita nos subitens seguintes.

Figura 15- Metodologia utilizada na etapa de fonte e tratamento de dados



Fonte: Elaboração própria.

3.3.1 Tratamento 1: Dados gerais dos envolvidos (si_env)

O tratamento das planilhas de dados gerais dos envolvidos (si_env) foi dividido em sete etapas:

- (1) Criação da planilha COMPILADO_anoX; onde foi criada uma planilha para compilação de todos os dados de sinistros para cada ano;
- (2) Inclusão de dados gerais dos envolvidos no COMPILADO_anoX; onde foram adicionados todos os dados de envolvidos na respectiva planilha COMPILADO_anoX para cada ano;

(3) Inclusão de dados de número total de envolvidos: onde foi adicionada uma coluna (QNT_ENV) com o número total de envolvidos do sinistro para todos os registros de envolvidos;

(4) Inferência de dado de espécie de veículo para ônibus e micro-ônibus: onde foi adicionada uma coluna (TIPO) com informações (ONIBUS ou MICROONIBUS) para todos os envolvidos de sinistros que envolvessem um dos tipos de veículo;

(5) Inclusão de dado de outras espécies de veículos envolvidas: onde foram criadas colunas específicas para cada tipo de espécies de veículo, onde foi incluído um “1” para indicar a participação do respectivo veículo no sinistro e um “0” para a não participação; e

(6) Inferência de idades: onde foram incluídas as respectivas idades do envolvido no dia do sinistro na coluna “Idade”, caso a mesma não estivesse registrada, mas a data de nascimento da coluna “nascimento” sim;

(7) Inclusão de faixas de idade: onde foram incluídas duas colunas (Cod_faixa_idade e Desc_faixa_idade) que dividissem as idades dos envolvidos em grupos (Tabela 8).

Tabela 8- Detalhamento de código e descrição de faixas de idade dos envolvidos

Intervalo	Cod faixa idade	Desc faixa idade
0 a 12 anos	0	Criança
13 a 17 anos	1	Adolescente
18 a 64 anos	2	Adulto
65 anos ou mais	3	Idoso
-	NI	Não Informado

Fonte: Elaboração própria.

3.3.2 Tratamento 2: Dados gerais do boletim (si_bol)

O tratamento das planilhas de dados gerais do boletim (si_bol) foi dividido em 2 etapas:

(1) Inclusão e relação de todas as informações da base na planilha COMPILADO_anoX; e

(2) Tratamento de texto de coordenadas: onde foram tratados os textos das coordenada para um formato com possibilidade de exportação para o *software* QGIS 3.34.

3.3.3 Tratamento 3: Dados gerais do veículo (si_veic)

O tratamento das planilhas de dados gerais do veículo (si_veic) consistiu em uma única etapa:

(1) Inclusão de dados gerais do veículo no COMPILADO_anoX.

3.3.4 Tratamento 4: Dados gerais dos logradouros do local do acidente (si_log)

O tratamento das planilhas de dados gerais dos logradouros do local do acidente (si_log) foi dividido em 4 etapas:

- (1) Inclusão de dados gerais dos logradouros do local do acidente no COMPILADO_anoX;
- (2) Inferência de dado de coordenada: onde foram incluídas as respectivas coordenadas do sinistro nas colunas “COORDENADA_X” e “COORDENADA_Y”, caso estas não estivessem registradas, de acordo com os endereços informados no banco de dados;
- (3) Exclusão de dados sem coordenadas: onde foram excluídos todos os dados que permaneceram sem coordenadas; e
- (4) Inclusão de classificação viária: onde foram incluídas duas colunas (Cod_classificacao_viaria e Desc_classificacao_viaria) que de acordo com o nome do logradouro disponível e da relação de logradouro x classificação viária em planilha disponível no BHMaps (Tabela 9).

Tabela 9- Detalhamento de código e descrição de classificação viária dos locais de ocorrência dos sinistros

Cod_classificacao_viaria	Desc_classificacao_viaria
0	LOCAL
1	COLETORA
2	ARTERIAL
3	LIGACAO REGIONAL

Fonte: Elaboração própria.

3.3.5 Tratamento 5: Compilado e georreferenciamento de dados

O tratamento consistiu no georreferenciamento dos dados e foi dividido em 8 etapas:

- (1) União de dados das planilhas de COMPILANO_anoX em COMPILADO: onde foram compilados os dados de todas as planilhas COMPILADO_anoX em apenas uma planilha (COMPILADO);
- (2) Criação de coluna “ID”: onde foi incluída uma coluna enumerando cada linha do COMPILADO;
- (3) Criação de colunas sobre data: onde foram criadas 4 colunas (“ANO”, “Cod_mes”, “Desc_mes” e “DIA”) com informações sobre a data. A coluna “ANO” mostra os anos em que

aconteceram os sinistros (2016-2022), a coluna “DIA” os dias do mês em que aconteceram os sinistros (1-31) e a coluna mês os meses do ano em que aconteceram os sinistros (Tabela 10).

Tabela 10- Detalhamento de código e descrição de datas em que ocorreram os sinistros

Cod_mes	Desc_mes	Cod_mes	Desc_mes
1	Janeiro	7	Julho
2	Fevereiro	8	Agosto
3	Março	9	Setembro
4	Abril	10	Outubro
5	Maio	11	Novembro
6	Junho	12	Dezembro

Fonte: Elaboração própria.

(4) Filtragem da coluna “TIPO”: onde foi filtrado apenas as informações de “ONIBUS” e “MICROONIBUS” e excluídos os demais dados:

(5) Criação de colunas sobre dia da semana: onde foram incluídas duas colunas (“Cod_dia_semana” e “Desc_dia_semana”) com informações de dias da semana em que ocorreram os sinistros (Tabela 11).

Tabela 11- Detalhamento de código e descrição de dias da semana que ocorreram os sinistros

Cod_dia_semana	Desc_dia_semana
1	Domingo
2	Segunda
3	Terça
4	Quarta
5	Quinta
6	Sexta
7	Sábado

Fonte: Elaboração própria.

(6) Criação de colunas sobre faixa horária: onde foram incluídas duas colunas (“Cod_faixa_horaria” e “Desc_faixa_horaria”) com informações de faixa horária em que ocorreram os sinistros, de acordo com os horários (Tabela 12):

Tabela 12- Detalhamento de código e descrição de faixas horárias de sinistro.

Cod_faixa_horária	Desc_faixa_horária	Cod_faixa_horária	Desc_faixa_horária	Cod_faixa_horária	Desc_faixa_horária	Cod_faixa_horária	Desc_faixa_horária
00:00:00	00:00-00:15	06:00:00	06:00-06:15	12:00:00	12:00-12:15	18:00:00	18:00-18:15
00:15:00	00:15-00:30	06:15:00	06:15-06:30	12:15:00	12:15-12:30	18:15:00	18:15-18:30
00:30:00	00:30-00:45	06:30:00	06:30-06:45	12:30:00	12:30-12:45	18:30:00	18:30-18:45
00:45:00	00:45-01:00	06:45:00	06:45-07:00	12:45:00	12:45-13:00	18:45:00	18:45-19:00
01:00:00	01:00-01:15	07:00:00	07:00-07:15	13:00:00	13:00-13:15	19:00:00	19:00-19:15
01:15:00	01:15-01:30	07:15:00	07:15-07:30	13:15:00	13:15-13:30	19:15:00	19:15-19:30

Cod_faixa horária	Desc_faixa horária	Cod_faixa horária	Desc_faixa horária	Cod_faixa horária	Desc_faixa horária	Cod_faixa horária	Desc_faixa horária
01:30:00	01:30-01:45	07:30:00	07:30-07:45	13:30:00	13:30-13:45	19:30:00	19:30-19:45
01:45:00	01:45-02:00	07:45:00	07:45-08:00	13:45:00	13:45-14:00	19:45:00	19:45-20:00
02:00:00	02:00-02:15	08:00:00	08:00-08:15	14:00:00	14:00-14:15	20:00:00	20:00-20:15
02:15:00	02:15-02:30	08:15:00	08:15-08:30	14:15:00	14:15-14:30	20:15:00	20:15-20:30
02:30:00	02:30-02:45	08:30:00	08:30-08:45	14:30:00	14:30-14:45	20:30:00	20:30-20:45
02:45:00	02:45-03:00	08:45:00	08:45-09:00	14:45:00	14:45-15:00	20:45:00	20:45-21:00
03:00:00	03:00-03:15	09:00:00	09:00-09:15	15:00:00	15:00-15:15	21:00:00	21:00-21:15
03:15:00	03:15-03:30	09:15:00	09:15-09:30	15:15:00	15:15-15:30	21:15:00	21:15-21:30
03:30:00	03:30-03:45	09:30:00	09:30-09:45	15:30:00	15:30-15:45	21:30:00	21:30-21:45
03:45:00	03:45-04:00	09:45:00	09:45-10:00	15:45:00	15:45-16:00	21:45:00	21:45-22:00
04:00:00	04:00-04:15	10:00:00	10:00-10:15	16:00:00	16:00-16:15	22:00:00	22:00-22:15
04:15:00	04:15-04:30	10:15:00	10:15-10:30	16:15:00	16:15-16:30	22:15:00	22:15-22:30
04:30:00	04:30-04:45	10:30:00	10:30-10:45	16:30:00	16:30-16:45	22:30:00	22:30-22:45
04:45:00	04:45-05:00	10:45:00	10:45-11:00	16:45:00	16:45-17:00	22:45:00	22:45-23:00
05:00:00	05:00-05:15	11:00:00	11:00-11:15	17:00:00	17:00-17:15	23:00:00	23:00-23:15
05:15:00	05:15-05:30	11:15:00	11:15-11:30	17:15:00	17:15-17:30	23:15:00	23:15-23:30
05:30:00	05:30-05:45	11:30:00	11:30-11:45	17:30:00	17:30-17:45	23:30:00	23:30-23:45
05:45:00	05:45-06:00	11:45:00	11:45-12:00	17:45:00	17:45-18:00	23:45:00	23:45-00:00

Fonte: Elaboração própria.

(7) Georreferenciamento de dados: onde, a partir das coordenadas, foi realizado o georreferenciamento dos dados utilizando o *software* QGIS 3.34;

(8) Inclusão de colunas sobre localização: onde foram incluídas colunas com informações atualizadas de localização (“Cod_regional”; “Desc_regional”; “Cod_bairro”; “Desc_bairro”; “Cod_tipo_bairro”; “Desc_tipo_bairro”) de acordo com shape atualizada de regional (Tabela 13) e bairros populares (ANEXO B). Ambos dados foram coletados do BHMaps e compilados através de georreferenciamento dos dados, utilizando a ferramenta “Associar atributos por localização” do QGIS 3.34.

Tabela 13- Detalhamento de código e descrição das regionais onde ocorreram os sinistros

Cod_regional	Desc_regional
18	BARREIRO
19	CENTRO-SUL
20	LESTE
21	NORDESTE
22	NOROESTE
23	NORTE
24	OESTE
25	PAMPULHA
26	VENDA NOVA

Fonte: Elaboração própria.

3.4 Análise da consistência e seleção de variáveis

Devido à baixa disponibilidade de alguns dados, eles não foram considerados nas análises, por possuírem quantidade de informações inaproveitáveis para análises estatísticas. Além disso, mesmo entre os parâmetros com um volume significativo de registros, alguns apresentavam baixa relevância para os objetivos do estudo, motivo pelo qual também foram excluídos das avaliações. Os dados considerados para o estudo podem ser observados na Tabela 14:

Tabela 14- Tipos de dados considerados para o estudo

si_bol	si_env	si_log	si_veic
DATAHORA_BOLETIM	condutor	nome_logradouro	descricao_categoria
DESC_TIPO_ACIDENTE	desc_severidade		descricao_especie
DESC_REGIONAL	Sexo		desc_situacao
COORDENADA_X	cinto_seguranca		
COORDENADA_Y	Embreagues		
	Idade		
	especie_veiculo		
	pedestre		
	passageiro		

Fonte: Elaboração própria.

Já os dados incluídos de outras bases corresponderam a todos os registros, não sendo necessária a exclusão de nenhum dado. Na Tabela 15 é possível observar a relação da quantidade total de dados de sinistros, bem como a quantidade total de dados de sinistros envolvendo ônibus antes, durante e pós tratamento. Foram utilizados 93% dos dados de sinistros envolvendo ônibus.

Tabela 15- Relação de quantidade de dados após tratamento

Tipo de dado	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total	
Sinistros totais	12.477	12.243	11.656	13.342	10.624	11.122	12.148	83.612	%
Sinistros envolvendo ônibus	1.387	1.164	994	1.070	625	552	692	6.484	
Sinistros envolvendo ônibus com coordenadas	1.224	1.077	884	954	572	499	630	5.840	90%
Sinistros envolvendo ônibus sem coordenadas	163	87	110	116	53	53	62	644	10%
Coordenadas tratadas	50	26	33	39	23	23	22	216	3%
Sinistros envolvendo ônibus com coordenadas + coordenadas tratadas	1.274	1.103	917	993	595	522	652	6.056	93%

Fonte: Elaboração própria.

3.5 Análises Estatísticas

A etapa de análises estatísticas foi dividida em duas partes. A primeira parte englobou a estatística descritiva dos dados selecionados para a análise. Nesta etapa, foram calculadas as distribuições de frequência das variáveis relacionadas aos sinistros. Essas distribuições possibilitaram uma caracterização inicial dos dados, identificando padrões gerais e possibilitando compreender a predominância de certos tipos de sinistros em condições específicas.

Primeiramente foi conduzida uma análise temporal da frequência dos sinistros ao longo do tempo. Essa abordagem permitiu a identificação de picos sazonais e momentos críticos, evidenciando períodos de maior incidência de ocorrências. Na sequência, a análise foi realizada com base no referencial teórico, contemplando os dados em fatores relacionados à via, ao ambiente, ao comportamento humano e às características do veículo. Com essas informações, foi possível estabelecer um diagnóstico dos sinistros envolvendo ônibus em Belo Horizonte.

A segunda parte da análise estatística abrangeu a análise de padrões espaciais. Nela, primeiramente buscou-se identificar as principais vias com maior concentração de sinistros. O método utilizado foi a Estimativas de Densidade Kernel (EDK) método de análise de padrões espaciais de processos pontuais. Seu objetivo é obter uma estimativa suavizada da intensidade pontual do processo em toda a região de estudo (Costa; Moraes, 2009).

Para aplicação do EDK foi utilizado a ferramenta “Mapa de calor (Estimativa de densidade Kernel)” do *software* QGIS 3.34. Ela cria um *raster* de densidade de uma entrada de camada vetorial de pontos usando a estimativa de densidade kernel. *Hotspots* e agrupamentos de pontos são facilmente identificados com mapas térmicos. A densidade é calculada com base no número de pontos em um lugar sendo que grandes números de pontos agrupados resultam em maiores valores (QGIS, 2025).

O raio da ferramenta define a distância de influência de cada ponto na geração da superfície de densidade. Quanto maior o raio, mais suave e ampla será a dispersão do calor ao redor de cada ponto. Enquanto o tamanho do pixel define a resolução da grade *raster* gerada a partir dos pontos, controlando o nível de detalhe da superfície de densidade. Para uma melhor visualização dos dados, o raio utilizado foi de 300m e o tamanho dos pixels x e y foram de 10.

Feito isso, o próximo passo foi identificar a autocorrelação espacial dos sinistros. Para isso, foram aplicados os métodos I de Moran Global e Local (*Local Indicators of Spatial Association* (LISA)). O I de Moran é um método estatístico utilizado para testar se a distribuição espacial dos dados ocorre de forma aleatória ou apresenta autocorrelação espacial. Seus valores variam entre -1 e 1, onde -1 indica dispersão total e 1 indica uma clusterização perfeita. Valores próximos de 0, sem significância estatística, sugerem aleatoriedade na distribuição espacial (Santos; Oviedo-Trespalacios; Bastos, 2023).

Já o LISA complementa essa análise ao identificar *clusters* locais de correlação espacial, destacando áreas críticas onde os sinistros são mais frequentes. Nele, cada unidade espacial recebe um índice LISA. Este índice avalia a associação espacial para sinistros observados em unidades adjacentes. Um índice mais alto indicaria uma concentração espacial aumentada de sinistros e vice-versa (Rahman; Jamal; Al-Ahmadi, 2020).

Um valor positivo para o índice (I) indica que uma feição possui feições vizinhas com valores de atributos altos ou baixos semelhantes; essa feição faz parte de um *cluster*. Um valor negativo para o índice indica que uma feição possui feições vizinhas com valores diferentes; essa feição é um *outlier*. Em ambos os casos, o valor p para a feição deve ser pequeno o suficiente para que o *cluster* ou *outlier* seja considerado estatisticamente significativo (Esri, 2025).

Para a aplicação das análises foi utilizada uma malha hexagonal de área de 0,11km² criada no QGIS 3.34 e seguindo a metodologia de estudos recentes da área, como aplicado por Pereira e Herszenhut (2023). Para isso, foi utilizada a ferramenta “Criar Grade”. Depois foram inseridas as variáveis de quantidade de sinistros por hexágono, através da ferramenta “Associar atributos por localização”. Nela, cada sinistro foi vinculado ao ID do hexágono correspondente. Os dados foram então exportados para Excel, tratados e reintegrados à camada vetorial dos hexágonos.

Para aplicação do I de Moran Global e Local foram utilizadas as ferramentas de estatística espacial do *software* ArcGIS Pro 3.50. Para o I de Moran Global foi utilizada a ferramenta “Auto Correlação Espacial (*Global Moran's I*) e para o LISA a ferramenta de “Análise de Agrupamento e Dados Atípicos (*Anselin Local Moran's I*). A Conceitualização de Relacionamentos Espaciais utilizada foi a de “Vizinhos mais próximos de K” com K=6 (Tabela 16) e a o método de distância foi a “Euclidiana” (Tabela 17).

Tabela 16- Conceitualização de relacionamentos espaciais

Tipo	Descrição
Distância inversa	As feições vizinhas próximas têm maior influência nos cálculos de uma feição-alvo do que aquelas mais distantes.
Distância inversa quadrada	Igual à distância inversa, porém a inclinação é mais acentuada, de modo que a influência cai mais rapidamente e apenas os vizinhos mais próximos exercem influência significativa.
Banda de distância fixa	Cada feição é analisada no contexto das feições vizinhas. As vizinhas dentro da distância crítica recebem peso 1; as fora dessa distância recebem peso 0.
Zona de diferença	As feições dentro da distância crítica recebem peso 1; após esse limite, os pesos e a influência diminuem com a distância.
Vizinhos mais próximos de K	As K feições mais próximas são incluídas na análise. O número de vizinhos (K) é definido pelo parâmetro “Número de vizinhos”.
Segmento de contiguidade somente	Apenas feições poligonais que compartilham uma fronteira ou se sobrepõem influenciam os cálculos da feição-alvo.
Bordas dos segmentos de contiguidade	Feições poligonais que compartilham uma fronteira, um nó ou se sobrepõem influenciam os cálculos da feição-alvo.
Obter pesos espaciais do arquivo	As relações espaciais são definidas por um arquivo de pesos espaciais especificado (SWM).

Fonte: Esri (2025).

Tabela 17- Método de Distância

Tipo	Descrição
Euclidiana	Distância em linha reta entre dois pontos (“como o voo de um pássaro”).
Manhattan	Distância entre dois pontos medida ao longo de eixos perpendiculares (em blocos de cidade); calculada somando as diferenças absolutas entre as coordenadas x e y.

Fonte: Esri (2025).

O método de K vizinhos mais próximos é mais viável para análises de sinistros de trânsito, pois permite que cada ponto tenha o mesmo número de vizinhos, mesmo em áreas menos densas (Esri, 2025). Isso torna o cálculo do I de Moran mais estável e comparável entre regiões. A distância euclidiana complementa essa abordagem ao medir a proximidade real entre os pontos. Essa combinação é eficaz para identificar padrões de concentração e dispersão. É especialmente útil em ambientes urbanos com variações de densidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos apresentam inicialmente uma análise descritiva dos dados. Os sinistros foram descritos primeiramente em uma perspectiva geral e depois segregados conforme as categorias determinantes do referencial teórico. Quando pertinente, os dados foram comparados com o referencial, possibilitando a identificação de padrões e discrepâncias.

A análise de densidade espacial permitiu compreender a distribuição geográfica dos sinistros de trânsito no município. Foi possível identificar áreas de maior concentração desses incidentes, correlacionando com fatores como, densidade populacional e intensidade de circulação de veículos. Esses mapas revelaram zonas críticas que necessitam de intervenções prioritárias para redução desses incidentes.

Enquanto a análise de autocorrelação espacial utilizando os métodos do I de Moran e do LISA permitiu identificar padrões e concentrações de sinistros envolvendo ônibus em Belo Horizonte. Os resultados foram representados em mapas temáticos, destacando áreas críticas e fatores influentes.

4.1 Estatística Descritiva

A primeira parte da estatística descritiva serviu para caracterizar as informações gerais dos sinistros. Nela, foram apresentados os dados referentes aos tipos de sinistros, a severidade, quantidade de veículos envolvidos e a quantidade de pessoas envolvidas (Tabela 18). Feito isso, os dados foram relacionados com os dados apresentados no referencial teórico.

Tabela 18- Detalhamento de código e descrição da categoria determinante fator humano

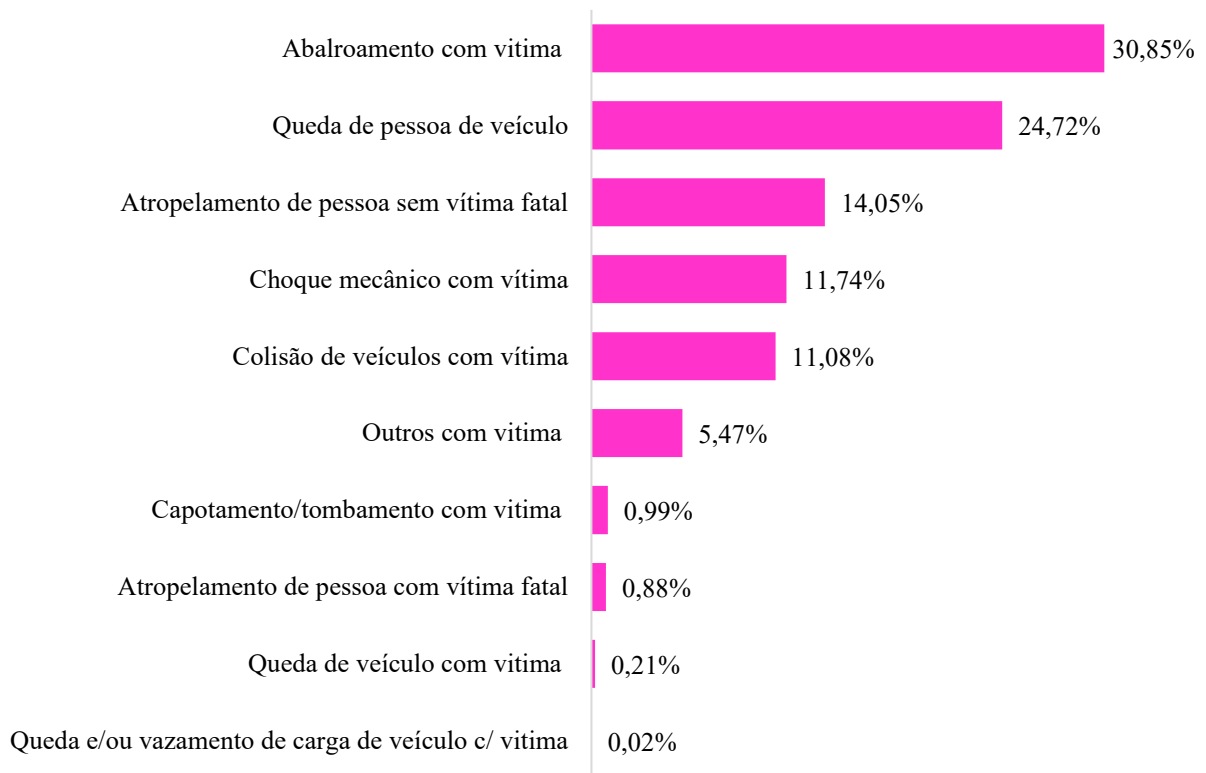
Código do dado no COMPILADO	Descrição
DESC_TIPO_ACIDENTE	Tipo de sinistro
Desc_severidade	Severidade
QNT_ENV	Quantidade de pessoas envolvidas
QNT_VEIC_ENV	Quantidade de veículos envolvidos

Fonte: Elaboração própria.

Ressalta-se que no período de análise, 2016 a 2022, foram registradas 6.484 ocorrências envolvendo ônibus e micro-ônibus. No entanto, após os tratamentos desses dados, foram considerados 6.056, o que corresponde a 93% do total. Dessa forma, as análises a seguir serão feitas sob este total.

O tipo de sinistro de trânsito envolvendo ônibus que mais ocorreu em BH entre o período de estudo foi o abalroamento com vítima (30,85%). O abalroamento ocorre quando um veículo em movimento é colhido lateral ou transversalmente por outro veículo, também em movimento (SUMOB, 2024). Os demais tipos de sinistros mais frequentes foram a queda de pessoa de veículo (24,72%) e o atropelamento de pessoa sem vítima fatal (14,05%) (Figura 16).

Figura 16- Descrição do tipo de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022

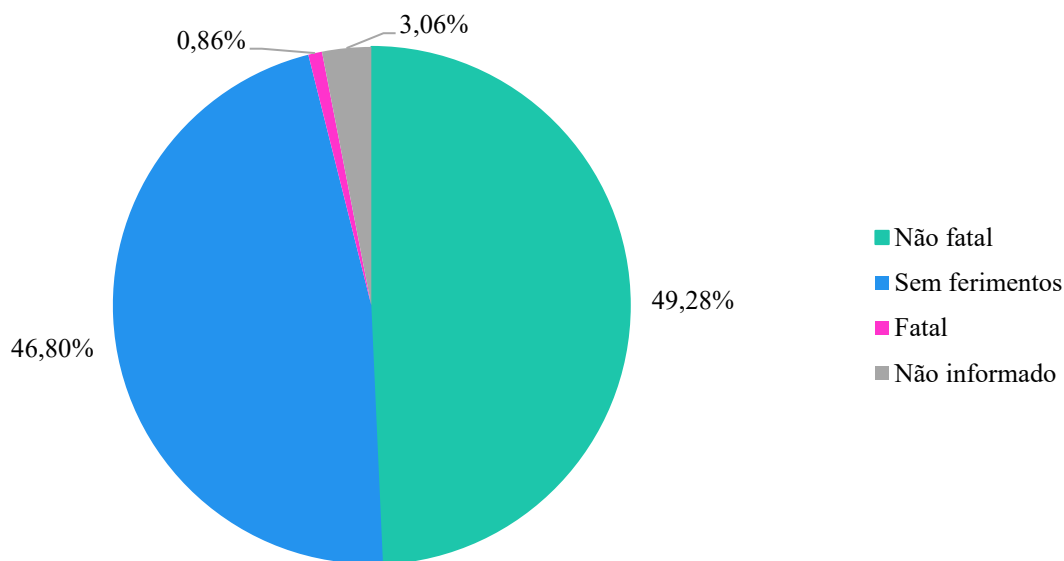


Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que de acordo com os dados RENAEST (2024), as colisões lateral e transversal representam 17% dos sinistros de Belo Horizonte, enquanto a queda representa 6% e o atropelamento com pedestres 1%. Os sinistros envolvendo ônibus apresentam percentuais maiores em comparação aos sinistros gerais, indicando que eles estão mais envolvidos nesses tipos específicos de incidente.

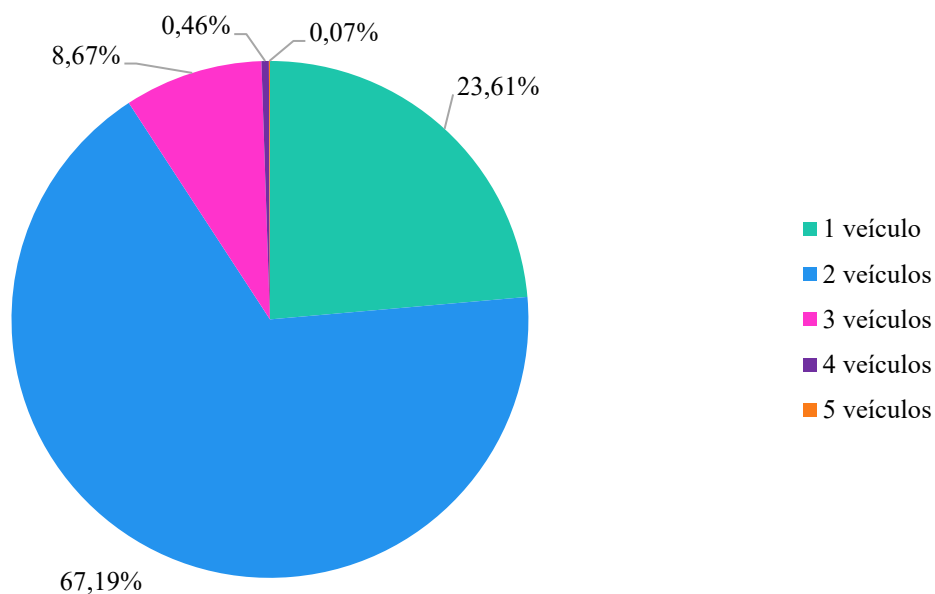
Em relação à severidade, os dados mostraram que a fatalidade de sinistros envolvendo ônibus é relativamente baixa em Belo Horizonte. Apenas 1% dos sinistros foram fatais, enquanto 47% foram sem ferimentos e 49,28% foram não fatais (Figura 17). Enquanto o maior número de veículos envolvidos nos sinistros foi 5 (0,07%) sendo que o maior percentual de veículos envolvidos nesses incidentes é de 2 veículos (67,19%) (Figura 18).

Figura 17- Descrição da severidade das vítimas de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022



Fonte: Elaboração própria.

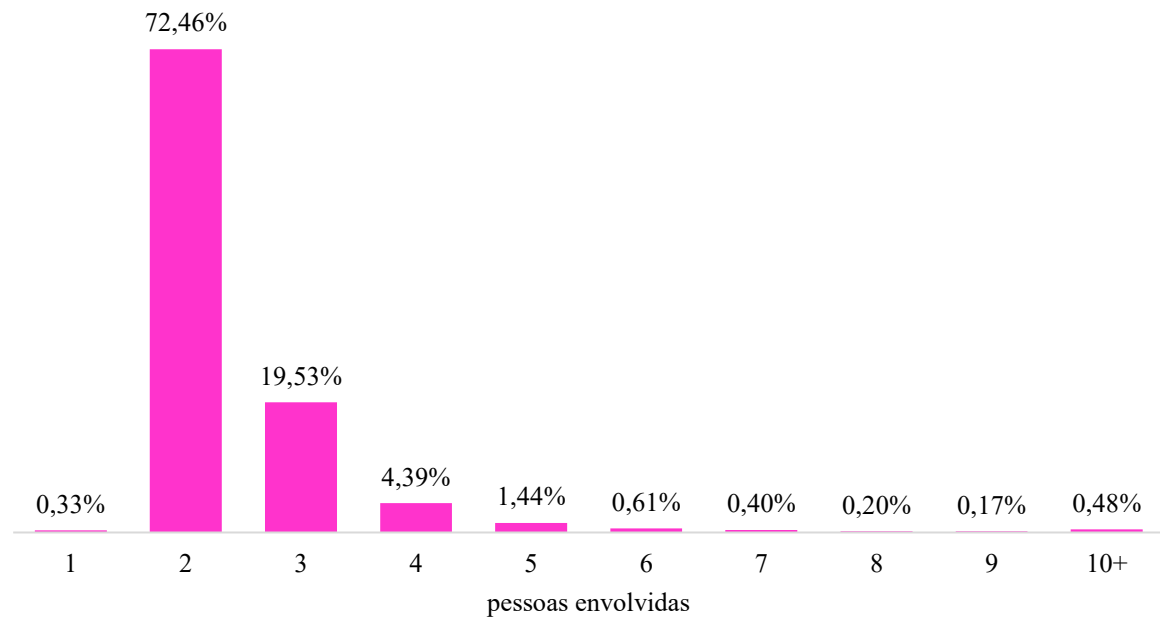
Figura 18- Descrição quantidade de veículos envolvidos nos sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022



Fonte: Elaboração própria.

A maioria dos sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022 teve baixa quantidade de pessoas envolvidas, com destaque para ocorrências com 2 pessoas (72,46%) e 3 pessoas (19,53%). Casos com 4 ou mais envolvidos foram menores, somando apenas 7,68% dos registros. Embora o gráfico mostre frequência inferior à 1% para 6 ou mais pessoas, sabe-se que houve sinistros com até 62 envolvidos (Figura 19).

Figura 19- Descrição quantidade de pessoas envolvidos nos sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022



Fonte: Elaboração própria.

A segunda parte da estatística descritiva foi realizada em alinhamento com as categorias determinantes de sinistros do referencial teórico. Dessa forma, os dados foram analisados de forma segregada em fator humano, fator veículo, fator via e fator ambiente e foram relacionados com os dados apresentados no referencial teórico, quando pertinente.

4.1.1 Fator via

De acordo com Cyganczuk, Pinto e Bastos (2023), o fator via compreende indicadores como tipo de pista, traçado da pista e uso do solo. Esses aspectos permitem avaliar as variáveis viárias no contexto dos sinistros de trânsito. Nesse sentido, considerou-se como fatores via os dados presentes na Tabela 19.

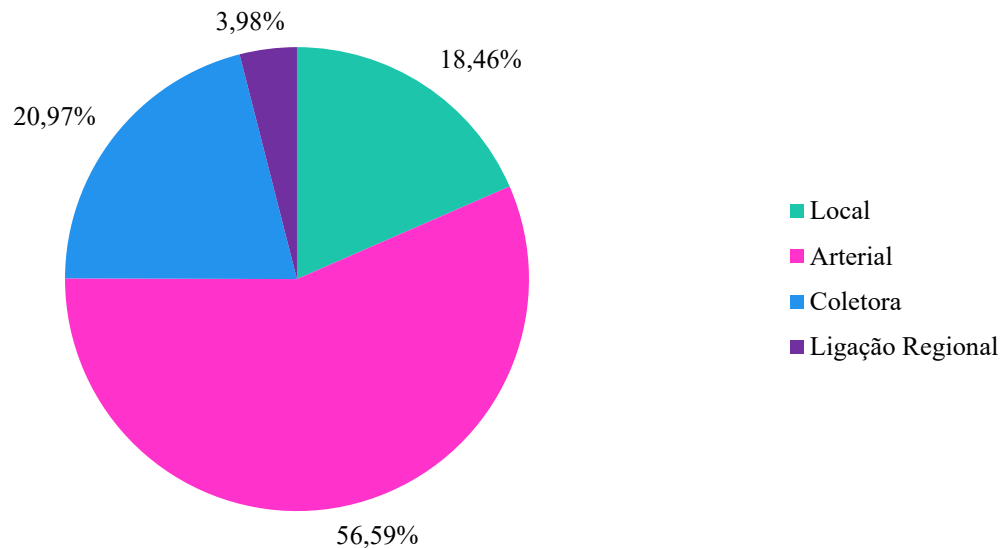
Tabela 19- Detalhamento de código e descrição da categoria determinante fator via

Código do dado no COMPILADO	Descrição
Desc_classificacao_viaria	Classificação viária
INFRAESTRUTURA	Infraestrutura para ônibus

Fonte: Elaboração própria.

A maioria dos sinistros envolvendo ônibus em Belo Horizonte ocorreu em vias arteriais (56,59%), seguida das vias coletoras (20,97%) e locais (18,46%) (Figura 20). Esse resultado se assemelha aos achados de Tamakloe et al. (2021) em Gana, Shen et al. (2022) no Reino Unido e Kim e Hong (2023) na Coreia do Sul, que identificaram que a estrutura viária influencia na ocorrência de sinistros, sendo que vias principais elevam os riscos.

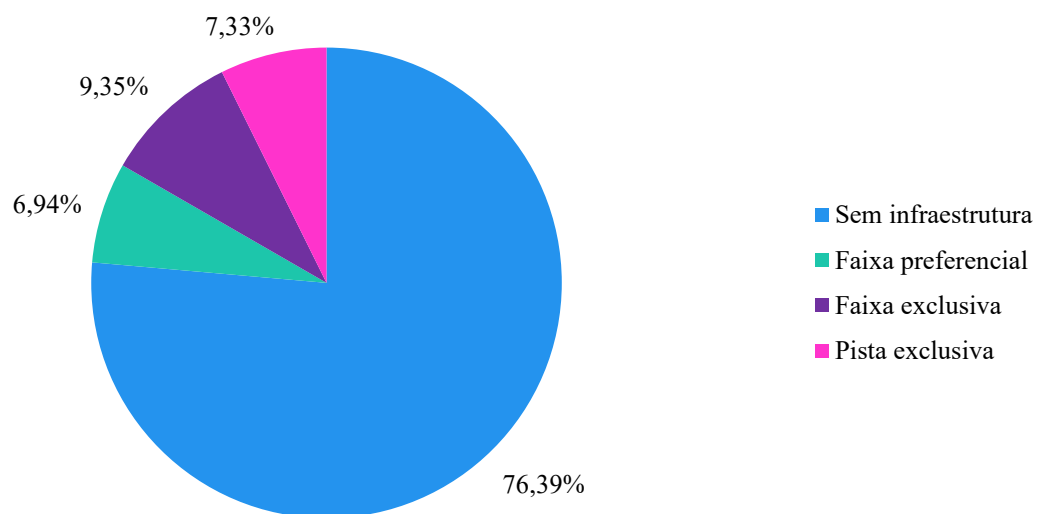
Figura 20- Descrição da classificação viária de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022



Fonte: Elaboração própria.

De acordo com o *shapefile* “Rede Priorização Ônibus” do BHMap, Belo Horizonte possui cerca de 56,50 km de vias exclusivas para o ônibus, o que corresponde a 1,13% da malha viária total (Prefeitura de Belo Horizonte, 2025). Nesse contexto, 76,39% dos sinistros aconteceram em locais sem infraestrutura específica, como faixas ou pistas exclusivas (Figura 21). Esses resultados evidenciam a predominância de sinistros em vias de fluxo misto, resultado semelhante ao estudo de Porcu et al. (2020) em Cagliari, na Itália, que identificou que estratégias de prioridade no tráfego reduzem frequência e gravidade de sinistros.

Figura 21- Descrição do tipo de infraestrutura para ônibus de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022



Fonte: Elaboração própria.

4.1.2 Fator ambiente

De acordo com Cyganczuk, Pinto e Bastos (2023), o fator ambiente compreende indicadores como horário, dia da semana, fase do dia, condições metodológicas, data e mês. Esses aspectos permitem avaliar as variáveis ambiente no contexto dos sinistros de trânsito. Nesse sentido, considerou-se como fatores ambiente os dados presentes na Tabela 20.

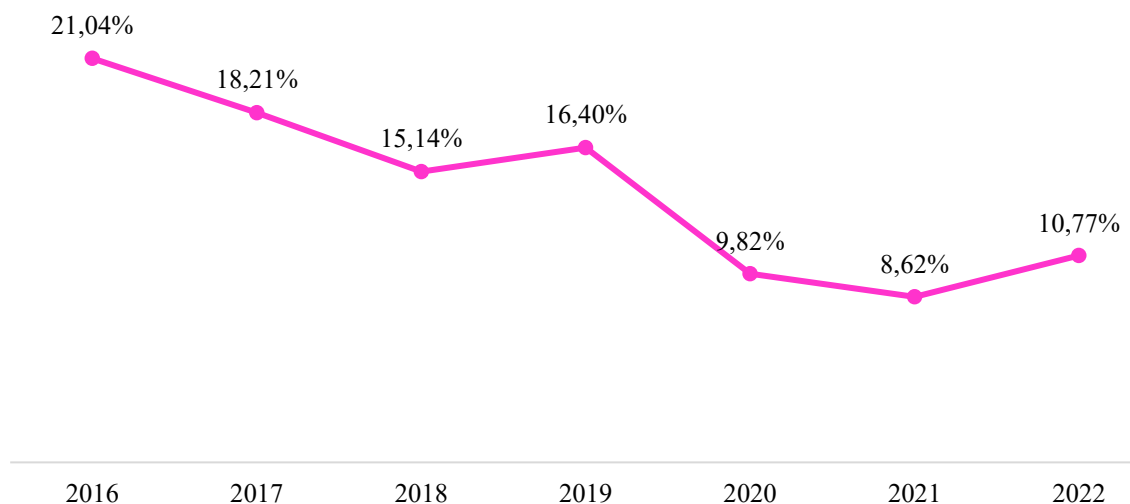
Tabela 20- Detalhamento de código e descrição da categoria determinante fator ambiente

Código do dado no COMPILADO	Descrição
ANO	Ano de ocorrência do sinistro
Desc_mes	Mês de ocorrência do sinistro
Desc_dia da semana	Dia da semana da ocorrência do sinistro
HORA	Faixa horária de ocorrência do sinistro
REGIONAL	Regional de ocorrência do sinistro
BAIRRO	Bairro de ocorrência do sinistro
nome_logradouro	Nome da rua de ocorrência do sinistro

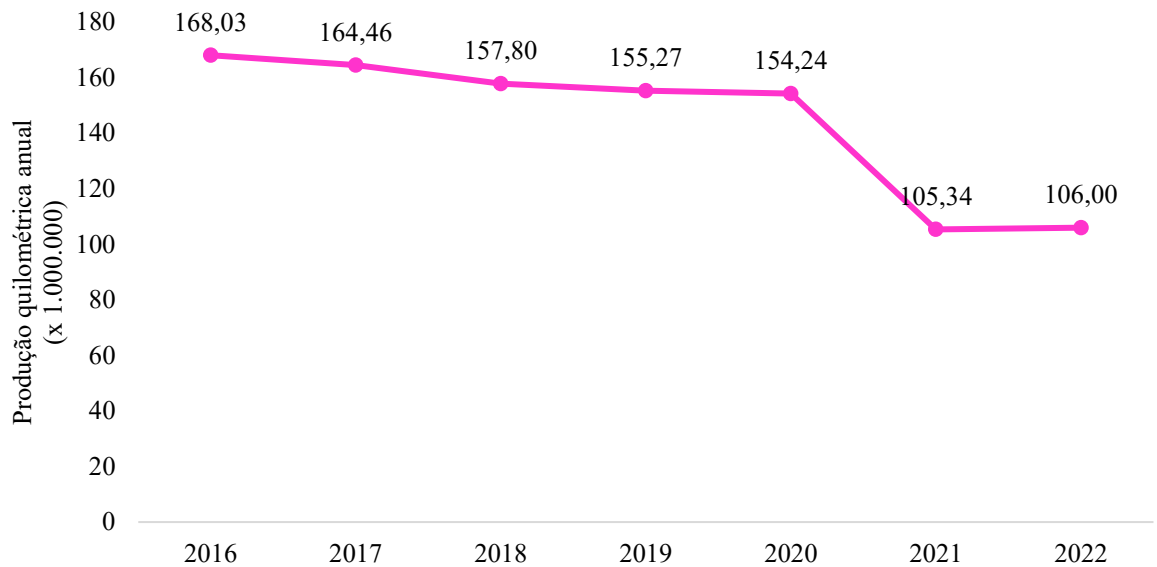
Fonte: Elaboração própria.

O percentual de sinistros envolvendo ônibus em Belo Horizonte tem diminuído ao longo dos anos (Figura 22). Os menores índices foram registrados em 2020 (9,82%) e 2021 (8,62%), período de também menor quilometragem produzida mensal. A redução pode estar relacionada à menor circulação de ônibus devido à pandemia COVID-19, de forma semelhante ao estudo de Rahnama, Cortez e Monzon (2024) na Espanha. Entretanto, essa tendência de queda já era observada em anos anteriores, sendo um dos possíveis motivos a redução da quilometragem mensal do transporte coletivo a partir de 2021 (BH TRANS, 2025) (Figura 23).

Figura 22- Descrição do percentual da quantidade de sinistros de trânsito envolvendo ônibus por ano em Belo Horizonte entre 2016 e 2022

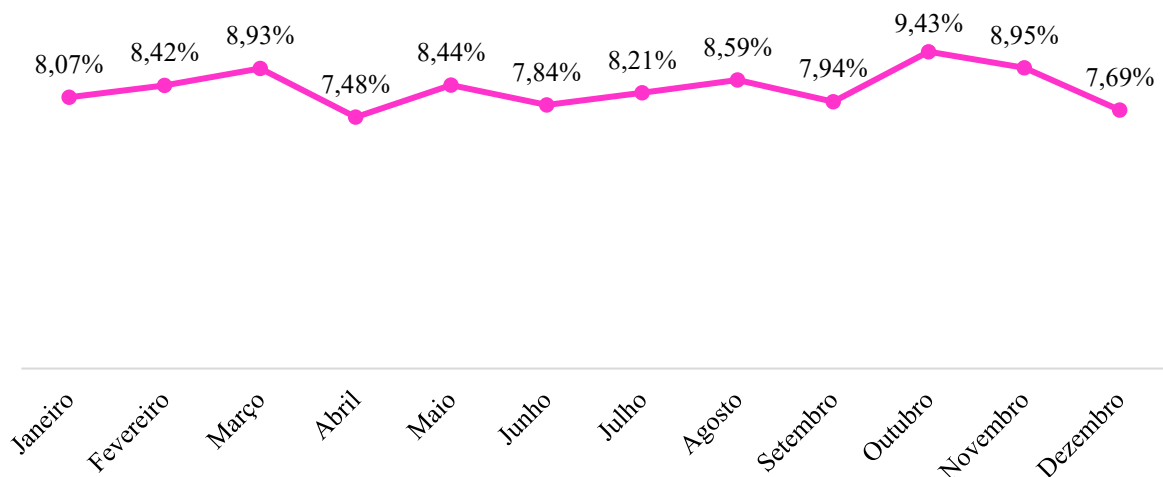


Fonte: Elaboração própria.

Figura 23- Produção quilométrica anual de ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022

Fonte: BH Trans (2025).

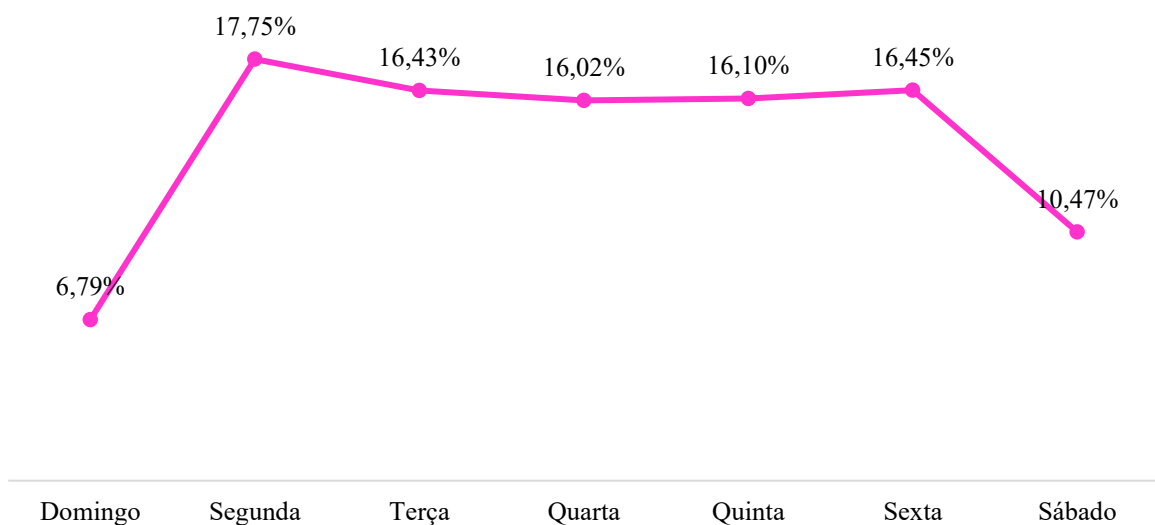
A distribuição mensal de sinistros envolvendo ônibus em Belo Horizonte não apresenta grande variação (Figura 24). Os meses com mais ocorrências são outubro (9,42%) e novembro (8,95%), enquanto abril (7,48%) e dezembro (7,69%) registram os menores índices. Essa estabilidade sugere que outros fatores, além da sazonalidade, influenciam a frequência desses incidentes.

Figura 24- Descrição do percentual da quantidade de sinistros de trânsito envolvendo ônibus por mês em Belo Horizonte entre 2016 e 2022

Fonte: Elaboração própria.

A segunda-feira concentra o maior percentual de sinistros envolvendo ônibus (17,75%), enquanto os demais dias da semana mantêm um nível equilibrado entre 16,02% e 16,45%. Já os finais de semana registram os menores índices, com sábado atingindo 10,47% e domingo 6,79% evidenciando uma redução na ocorrência desses eventos nesses dias (Figura 25).

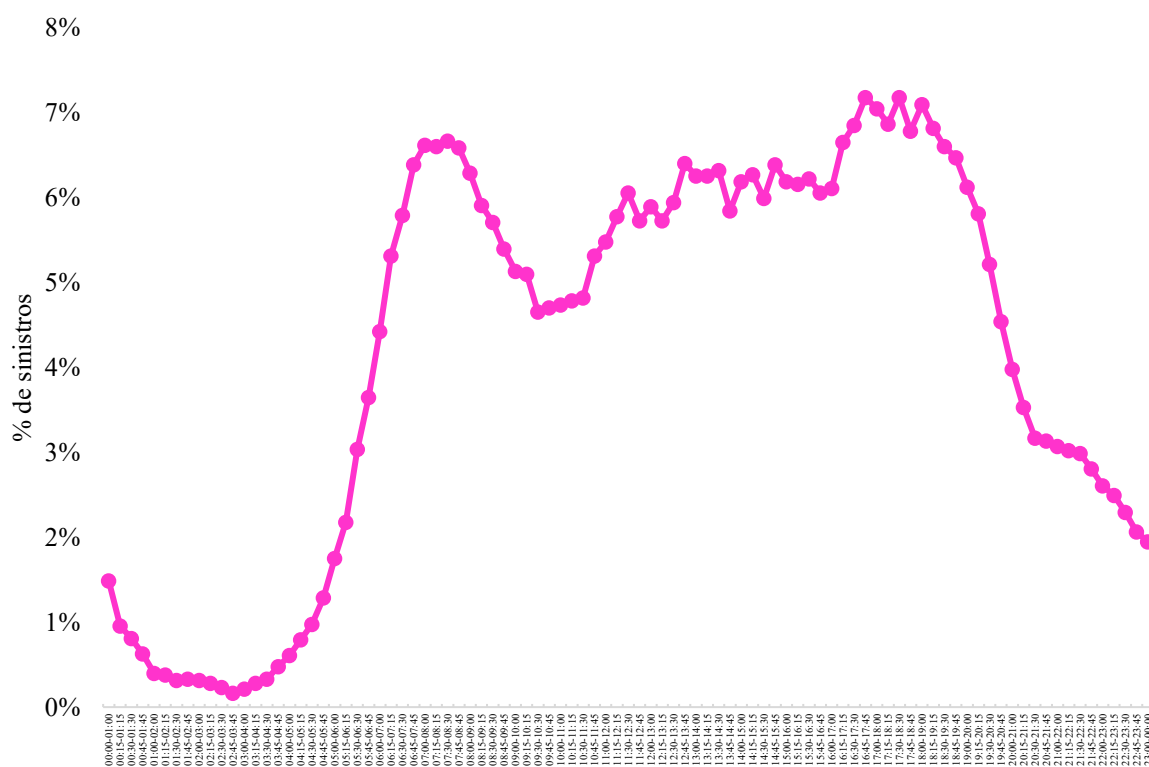
Figura 25- Descrição do percentual da quantidade de sinistros de trânsito envolvendo ônibus por dia da semana em Belo Horizonte entre 2016 e 2022



Fonte: Elaboração própria.

Os períodos com maior frequência de sinistros foram de 16:45 a 17:45 e de 17:30 a 18:30, ambos com 7,18% dos incidentes. No período da manhã, observa-se um pico entre 7:30 e 8:30, concentrando 6,67% dos casos. Esses horários coincidem com os períodos de maior fluxo entre casa e trabalho (Figura 26).

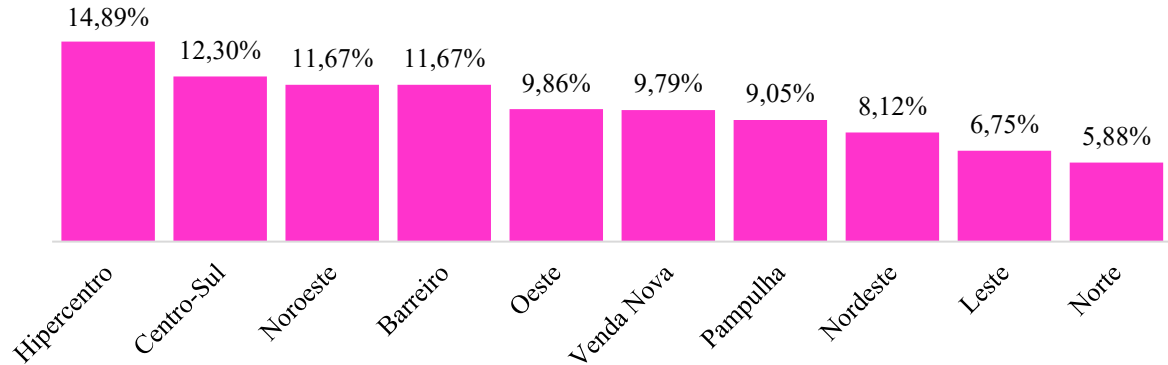
Figura 26- Descrição do percentual da quantidade de sinistros de trânsito envolvendo ônibus por faixa horária em Belo Horizonte entre 2016 e 2022



Fonte: Elaboração própria.

As regionais com maiores quantidades de sinistros foram as Hipercentro (14,89%) e Centro-Sul (12,30%) (Figura 27). Os resultados podem ser relacionados ao fato da espacialização da demanda de viagens por ônibus do município se concentrar na região central, área com maior densidade de estabelecimentos de comércio e serviços (LESSA, 2019).

Figura 27- Descrição do percentual da quantidade de sinistros de trânsito envolvendo ônibus por regional em Belo Horizonte entre 2016 e 2022



Fonte: Elaboração própria.

Os bairros com maior ocorrência desses eventos foram os bairros Centro (13,97%), Santa Efigênia (4,10%) e Padre Eustáquio (2,99%). O primeiro pertence à regional Centro-Sul, o segundo pertence às regionais Centro-Sul e Leste e o terceiro pertence à regional Noroeste. Entre as vias, destacam-se a Av. Amazonas (6,0%), Av. Cristiano Machado (4,7%) e Av. Presidente Antônio Carlos (3,8%), sendo que as duas últimas integram os principais corredores do BRT MOVE.

4.1.3 Fator humano

De acordo com Cyganczuk, Pinto e Bastos (2023), o fator humano compreende indicadores como sexo, idade e tipo de envolvido. Esses aspectos permitem avaliar as variáveis humanas no contexto dos sinistros de trânsito. Nesse sentido, considerou-se como fatores humanos os dados presentes na Tabela 21.

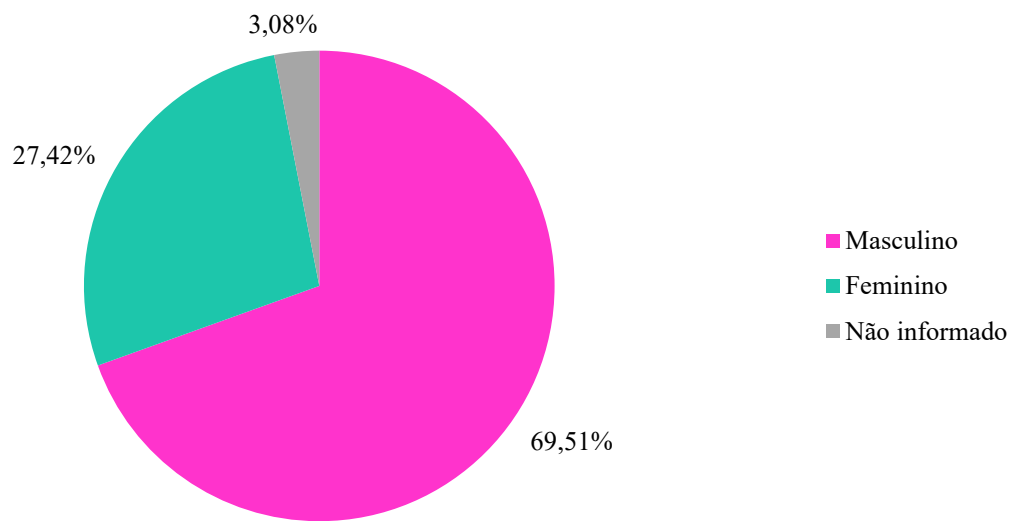
Tabela 21- Detalhamento de código e descrição da categoria determinante fator humano

Código do dado no COMPILADO	Descrição
Desc_sexo	Sexo
Desc_faixa_idade	Faixa etária
Desc_cinto	Se usava cinto de segurança
Desc_embreagues	Se estava embriagado
Desc_condutor	Se a vítima era condutor
Desc_pedestre	Se era pedestre
Desc_passageiro	Se era passageiro

Fonte: Elaboração própria.

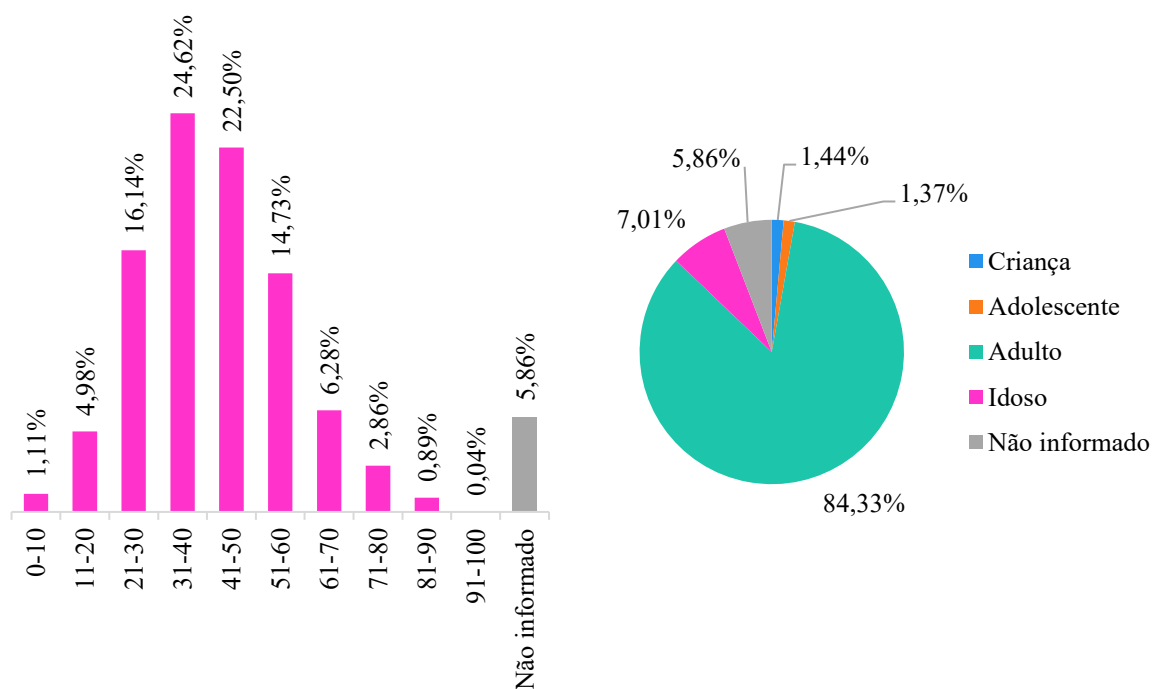
Durante o período analisado, 69,51% das vítimas dos sinistros envolvendo ônibus em BH eram do sexo masculino e 27,42% do sexo feminino (Figura 28). Entre os envolvidos, 84,33% eram adultos (18 a 64 anos), com destaque para 47,11% entre 31 e 50 anos (Figura 29). Apesar das semelhanças com dados gerais do Ministério da Saúde quanto ao gênero, a idade apresentou diferenças, com maior prevalência geral entre 20 e 25 anos (12%).

Figura 28- Descrição do sexo das vítimas de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022



Fonte: Elaboração própria.

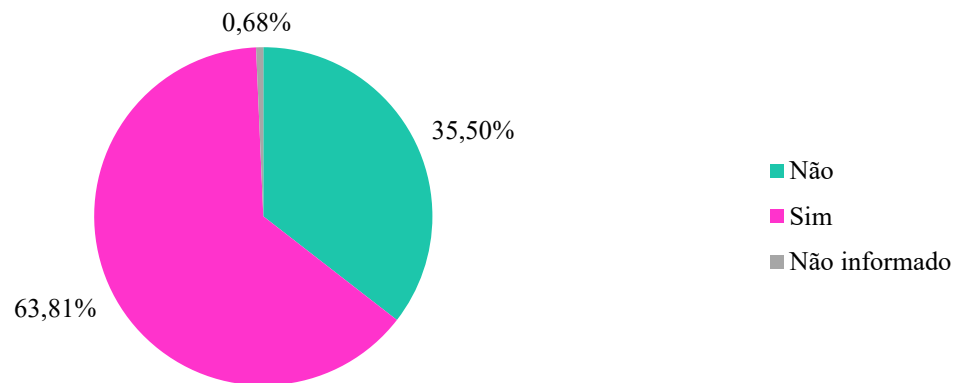
Figura 29- Descrição da faixa etária das vítimas de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022



Fonte: Elaboração própria.

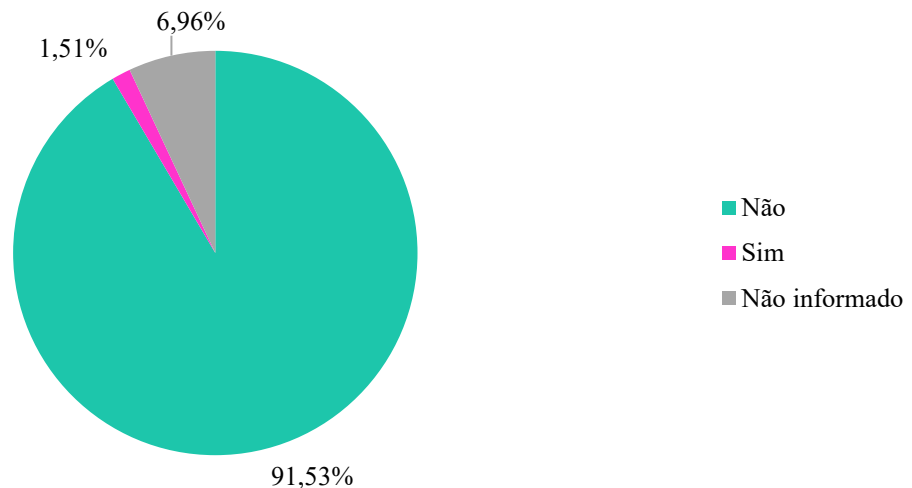
Entre as vítimas de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte, 63,81% usavam cinto de segurança, enquanto 35,50% não utilizavam e 1% não teve essa informação registrada (Figura 30). Já quanto à embriaguez, 91,53% das vítimas não estavam alcoolizadas no momento do incidente, apenas 1,51% estavam e 6,96% dos casos não tiveram essa informação informada (Figura 31). Os dados indicam uma boa adesão ao uso do cinto e baixo índice de embriaguez.

Figura 30- Descrição se a vítima de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022 usava o cinto de segurança



Fonte: Elaboração própria.

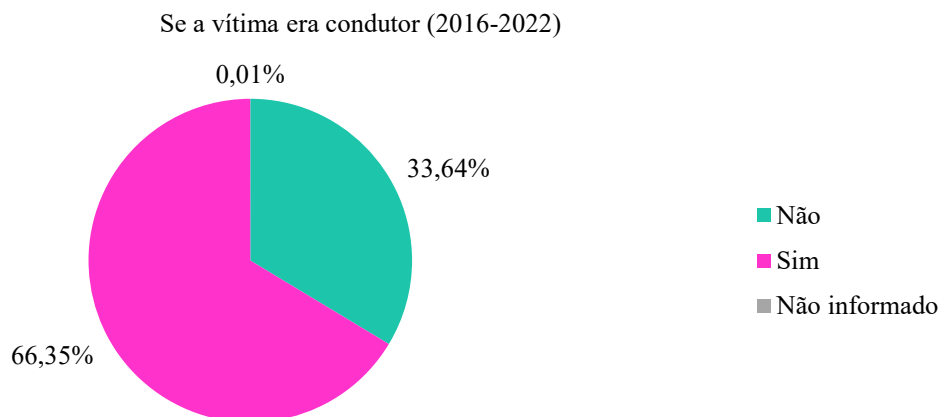
Figura 31- Descrição se a vítima de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022 estava embriagada



Fonte: Elaboração própria.

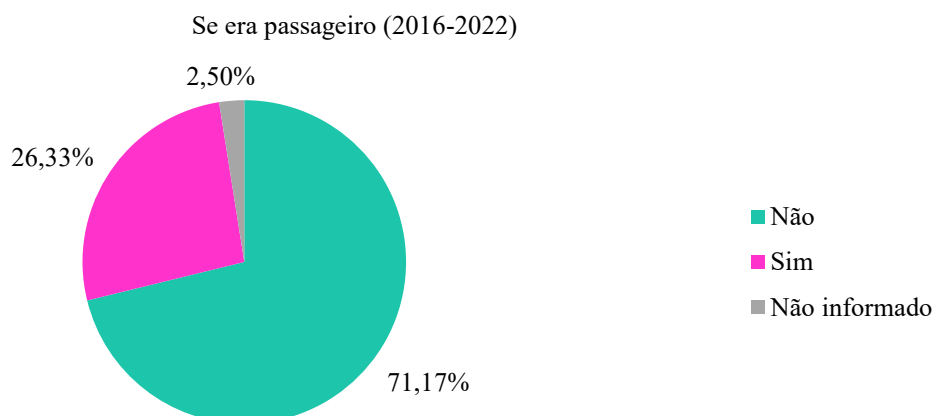
Entre as vítimas de sinistros envolvendo ônibus em Belo Horizonte, os resultados mostraram que 66,35% eram condutores e 33,64% não eram (Figura 32). Quanto à condição de passageiro, 26,33% das vítimas ocupavam essa posição, frente a 71,17% que não eram passageiros (Figura 33). E apenas 7,21% das vítimas eram pedestres (Figura 34). Dessa forma a maioria das vítimas de sinistros envolvendo ônibus era composta por condutores e passageiros.

Figura 32- Descrição se a vítima de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022 era condutora



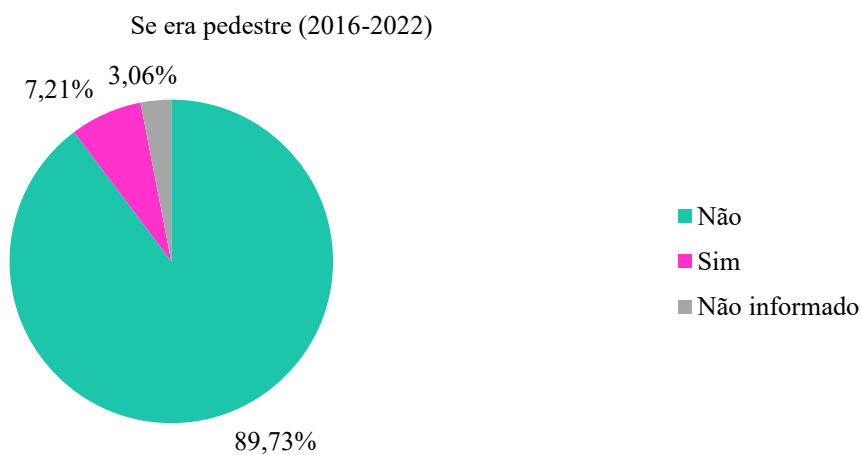
Fonte: Elaboração própria.

Figura 33- Descrição se a vítima de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022 era passageira



Fonte: Elaboração própria.

Figura 34- Descrição se a vítima de sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022 era pedestre



Fonte: Elaboração própria.

Apesar dos resultados obtidos, identificou-se inconsistência nas classificações das vítimas, já que estas deveriam ser distribuídas entre pedestres, passageiros e condutores, porém 13 registros permanecem sem identificação em qualquer uma dessas categorias. Essa discrepância sugere possíveis falhas no processo de registro ou na coleta das informações, indicando limitações na confiabilidade dos dados.

4.1.4 Fator veículo

De acordo com Cyganczuk, Pinto e Bastos (2023), o fator veículo compreende indicadores como tipo de veículo e ano de fabricação. Esses aspectos permitem avaliar as variáveis veiculares no contexto dos sinistros de trânsito. Nesse sentido, considerou-se como fatores veículos os dados presentes na Tabela 22.

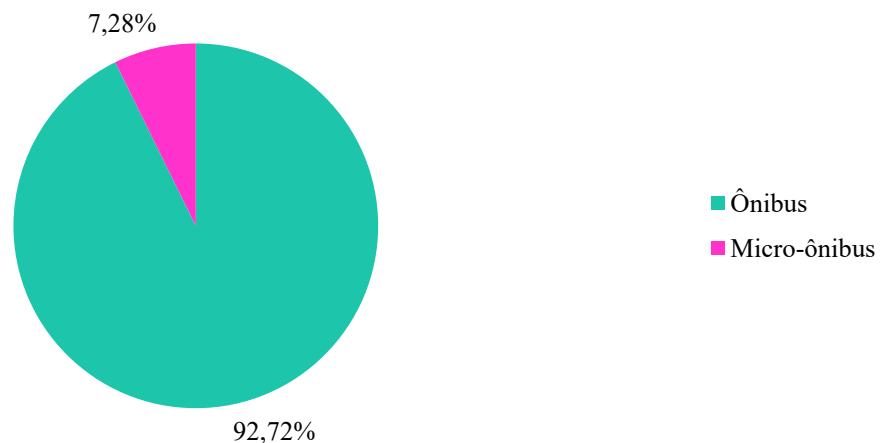
Tabela 22- Detalhamento de código e descrição da categoria determinante fator veículo

Código do dado no COMPILADO	Descrição
TIPO	Se era ônibus ou micro-ônibus
descricao_categoria	Categoria (aluguel, oficial, particular, aprendizagem ou missão diplomática)
desc_situacao	Situação (em movimento, parado ou estacionado)
especie_veiculo	Espécie do veículo envolvido

Fonte: Elaboração própria.

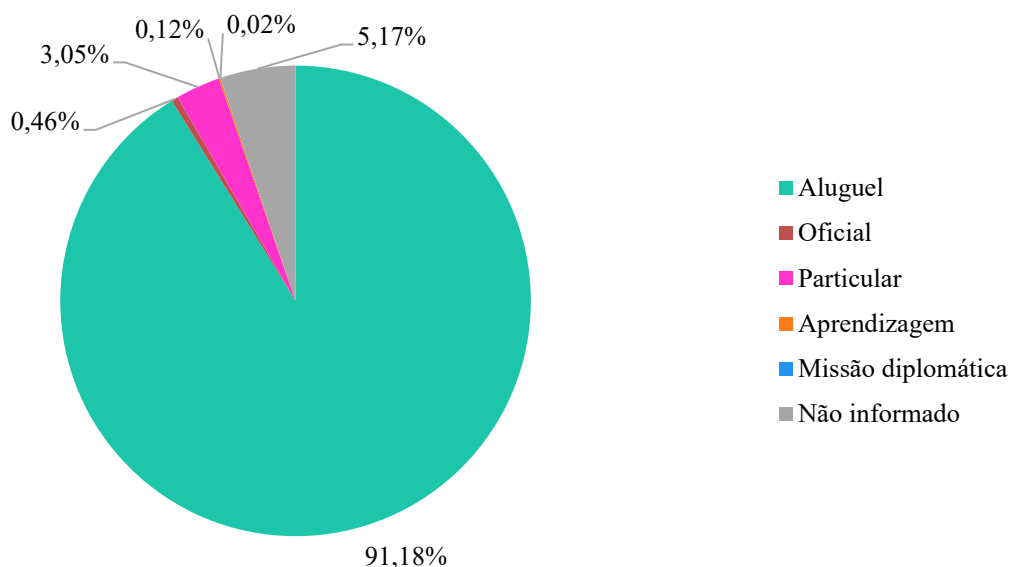
A maioria dos sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022 ocorreu com ônibus, representando 93% dos casos, enquanto micro-ônibus estiveram presentes em apenas 7,28% (Figura 35). Em relação à categoria dos veículos, 91,18% eram classificados como de aluguel, predominando largamente sobre as demais categorias (Figura 36). Assim, observa-se a forte predominância do transporte público convencional nos sinistros analisados.

Figura 35- Descrição se os sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022 foi com ônibus ou micro-ônibus



Fonte: Elaboração própria.

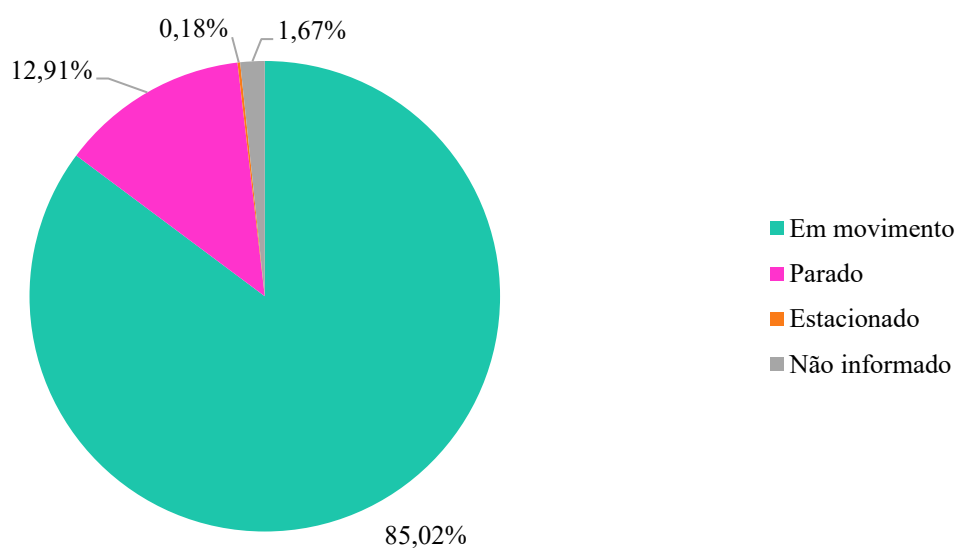
Figura 36- Descrição da categoria dos sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022



Fonte: Elaboração própria.

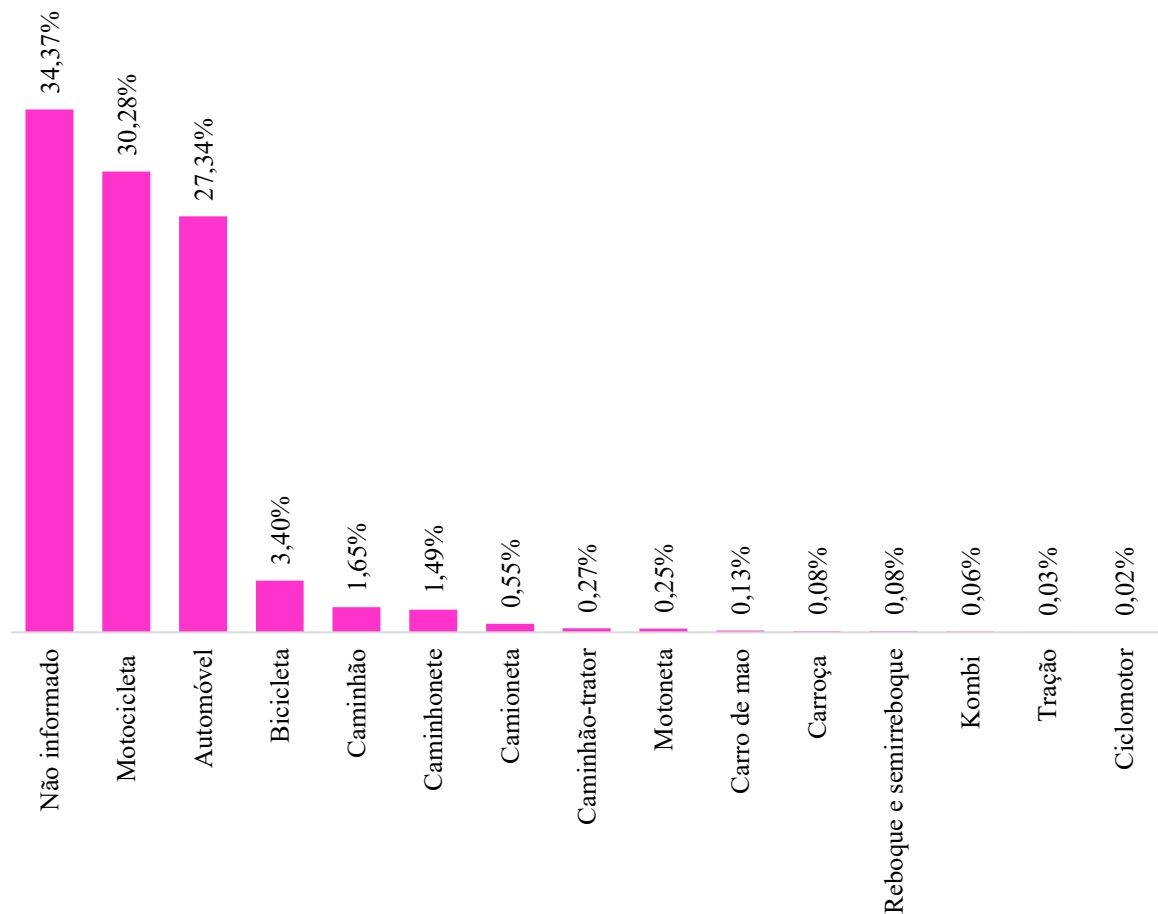
A maior parte dos sinistros ocorreu com os veículos em movimento (85,02%), enquanto as condições parado e estacionado apresentaram menores incidências (12,91% e 1,67%, respectivamente) (Figura 37). Além disso, no contexto dos veículos envolvidos, há predominância de registros não informados (34,37%), seguidos por motocicletas (30,28%) e automóveis (27,34%) (Figura 38). Destaca-se que 50% dos dados não informados eram pedestres e 49% eram passageiros.

Figura 37- Descrição da situação dos sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022



Fonte: Elaboração própria.

Figura 38- Descrição da espécie do veículo envolvido nos sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte entre 2016 e 2022



Fonte: Elaboração própria.

4.2 Análises espaciais

Os resultados da Estimativa de Densidade Kernel revelam uma elevada concentração de sinistros envolvendo ônibus no hipercentro de Belo Horizonte, especialmente ao longo dos principais corredores urbanos, com destaque para aqueles que possuem faixas exclusivas de circulação. Essas ocorrências se concentram em áreas caracterizadas por intensa atividade comercial e elevado fluxo de transporte. Também foram identificados pontos críticos próximos à Estações de transporte coletivo e cruzamentos.

Em conjunto, o Índice de Moran e a análise LISA evidenciaram uma autocorrelação espacial positiva significativa, demonstrando que os sinistros não se distribuem de forma aleatória, mas configuram *clusters* bem definidos. As áreas classificadas como *high-high* concentram-se no centro da cidade e ao longo dos principais eixos viários, enquanto as regiões periféricas apresentam predominantemente padrões *low-low*. A interpretação detalhada dessas duas análises será aprofundada nos tópicos subsequentes.

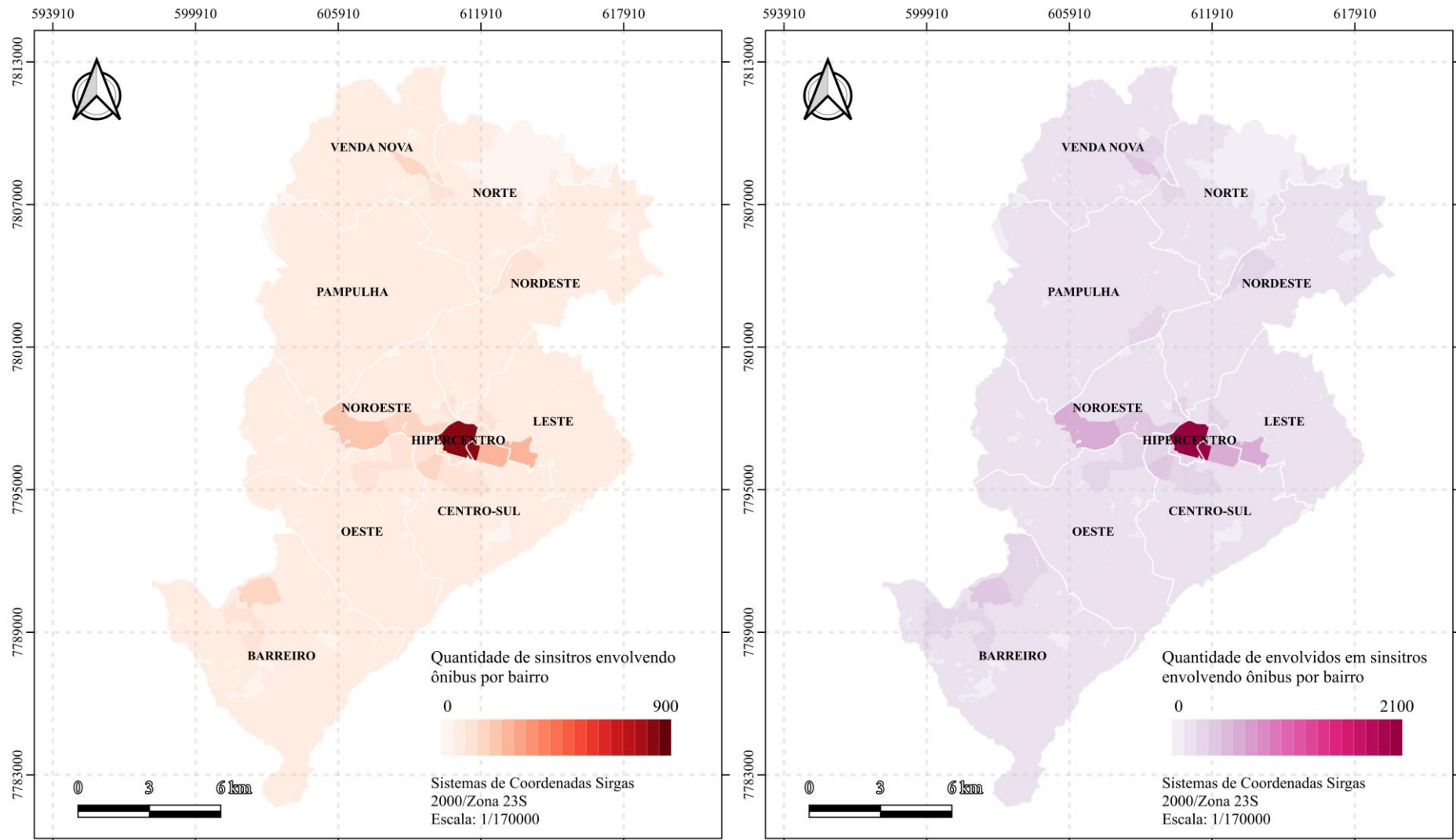
4.2.1 Estimativa de Densidade Kernel (EDK)

A EDK é uma técnica não paramétrica de suavização de dados baseada em amostras finitas. Ela oferece uma forma simples de identificar padrões em conjuntos de dados sem a necessidade de assumir um modelo paramétrico (Scaldelai; Matioli; Santos, 2021). No caso de sinistros, a EDK localiza áreas quentes, ou seja, locais onde há maior densidade desses eventos (Valdez, 2021).

A Figura 39 mostra a distribuição espacial da quantidade de sinistros e vítimas de sinistros por bairro em Belo Horizonte e a Figura 40 sua densidade. Em ambas análises as regiões com maior concentração de sinistros envolvendo ônibus e micro-ônibus em Belo Horizonte estão presentes na regional do Hipercentro da capital mineira.

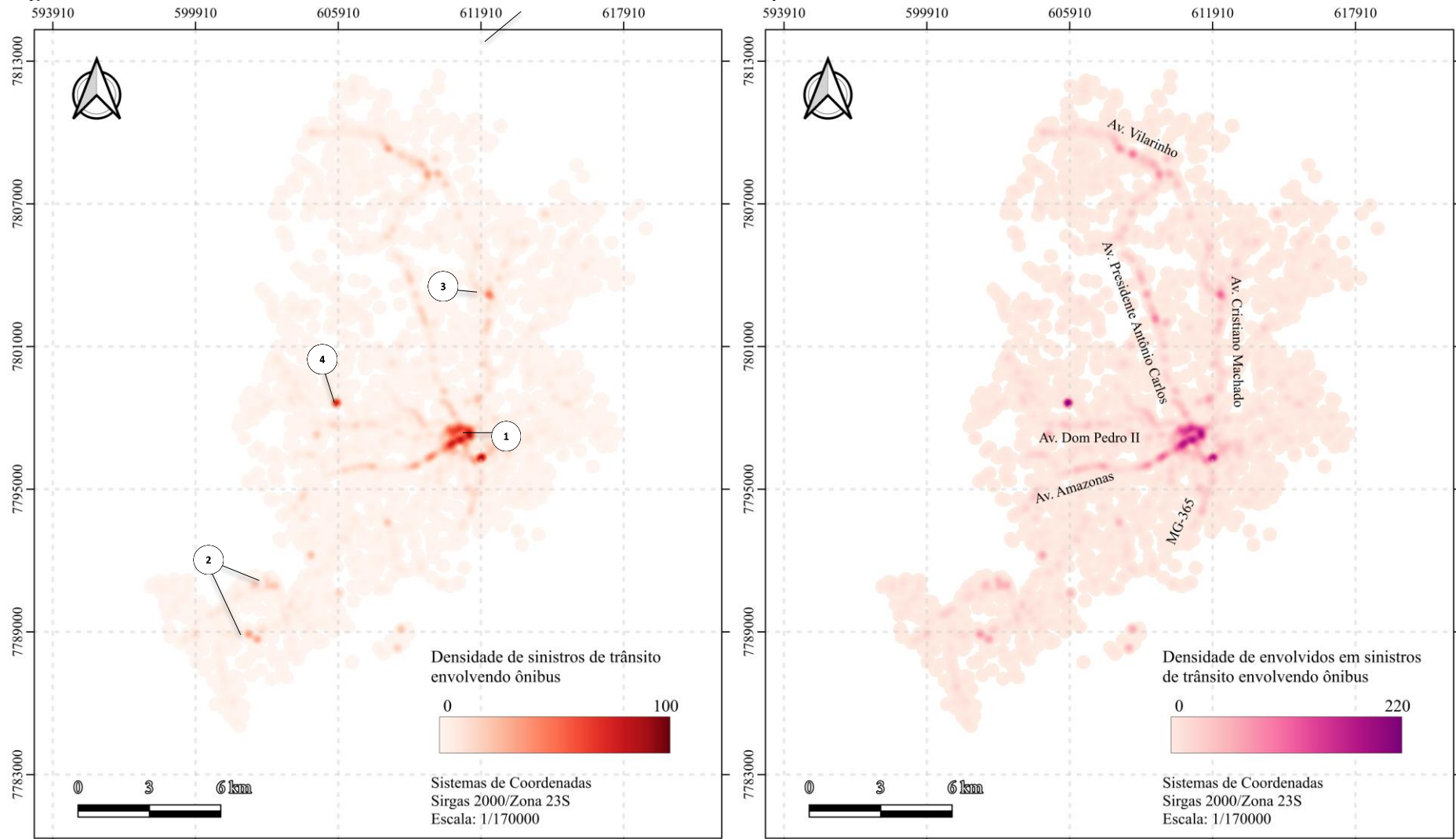
A regional do Hipercentro (1) é o campo que mais atrai fluxos internos e é o mais importante polo comercial e de serviços de Belo Horizonte (Lessa; Lobo, 2020). Por consequência, também é onde há a maior demanda de viagens por ônibus no município (Lessa, 2019). Esse resultado se semelha aos de Obelheiro et al. (2020), Qu et al. (2021), Xie et al. (2019) e Butt et al. (2017) que identificaram que áreas comerciais ou de uso mais diversificado, que atraem mais pedestres e veículos, têm maior frequência de sinistros, especialmente perto de grandes centros comerciais.

Figura 39- Distribuição espacial da quantidade de sinistros e vítimas de sinistros envolvendo ônibus por bairro em Belo Horizonte entre 2016 e 2022



Fonte: Elaboração própria.

Figura 40- Densidade de sinistros e vítimas de sinistros envolvendo ônibus por bairro em Belo Horizonte entre 2016 e 2022



Fonte: Elaboração própria

Observa-se também uma concentração de sinistros na região noroeste da regional Barreiro (2), situada na divisa com o município de Contagem. Além disso, destaca-se um ponto de maior densidade na Estação São Gabriel (3), que exerce papel estratégico na integração entre o sistema *Bus Rapid Transit* (BRT) e o metrô. Outro ponto crítico foi identificado nas proximidades do cruzamento entre o Anel Rodoviário e a Avenida Dom Pedro II (4).

Os resultados mostram-se coerentes, uma vez que há maior atividades de pedestres perto de locais comerciais, estações de ônibus e metrô, fatores que contribuem para o aumento de sinistros (Miranda-Moreno; Morency; El-Geneidy, 2011). Além de que esse resultado é semelhante aos achados de Valdez (2021), Butt et al. (2017), Rahman, Jamal e Al-Ahmadi, (2020) ao concluírem que áreas de cruzamentos também apresentaram maior risco de sinistros.

As vias com maior densidade desses eventos foram a Av. Amazonas, Av. Cristiano Machado e Av. Presidente Antônio Carlos, Av. Vilarinho e Av. Dom Pedro II. O resultado é semelhante ao de Oliveira et al. (2022) ao identificar que os sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte se concentravam nos grandes corredores urbanos e interurbanos.

A distribuição de vítimas nos sinistros envolvendo ônibus segue padrões semelhantes à dos incidentes, com maior concentração no hipercentro, na Estação São Gabriel e no cruzamento entre o Anel Rodoviário e a Av. Dom Pedro II. As vias Av. Amazonas, Av. Cristiano Machado e Av. Presidente Antônio Carlos, além da regional Barreiro, próxima à divisa com Contagem, também se destacam.

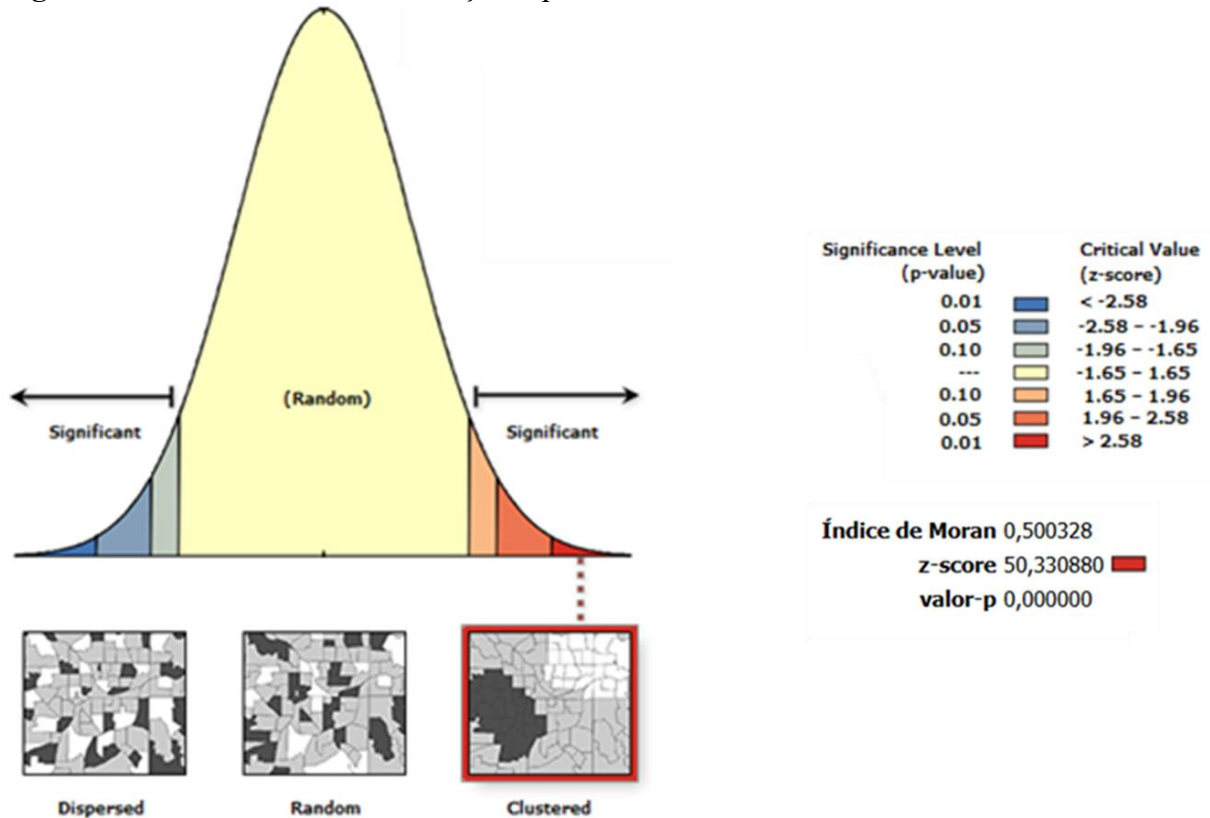
4.2.2 Índice de Moran Global (I de Moran) e *Local Indicator of Spatial Association* (LISA)

O I de Moran é um método estatístico utilizado para testar se a distribuição espacial dos dados ocorre de forma aleatória ou apresenta autocorrelação espacial. Seus valores variam entre -1 e 1, onde -1 indica dispersão total e 1 indica uma clusterização perfeita. Valores próximos de 0, sem significância estatística, sugerem aleatoriedade na distribuição espacial (Santos; Oviedo-Trespalacios; Bastos, 2023).

O resultado do I de Moran ($I = 0,500328$) indica uma autocorrelação espacial positiva, ou seja, os sinistros de trânsito apresentam um padrão agrupado no espaço. Além disso, para a avaliação do índice Moran I, observa-se um valor Z, onde um valor maior que 1,96 ou menor que -1,96 indica uma autocorrelação espacial com um nível de confiança de 95% (Almasi; Behnood,

2022). O valor do z-score (50,33) é extremamente alto e o valor-p (0,000000) demonstra que há menos de 1% de probabilidade de esse padrão ter ocorrido ao acaso (Figura 41).

Figura 41- Relatório de autocorrelação espacial – I de Moran Global

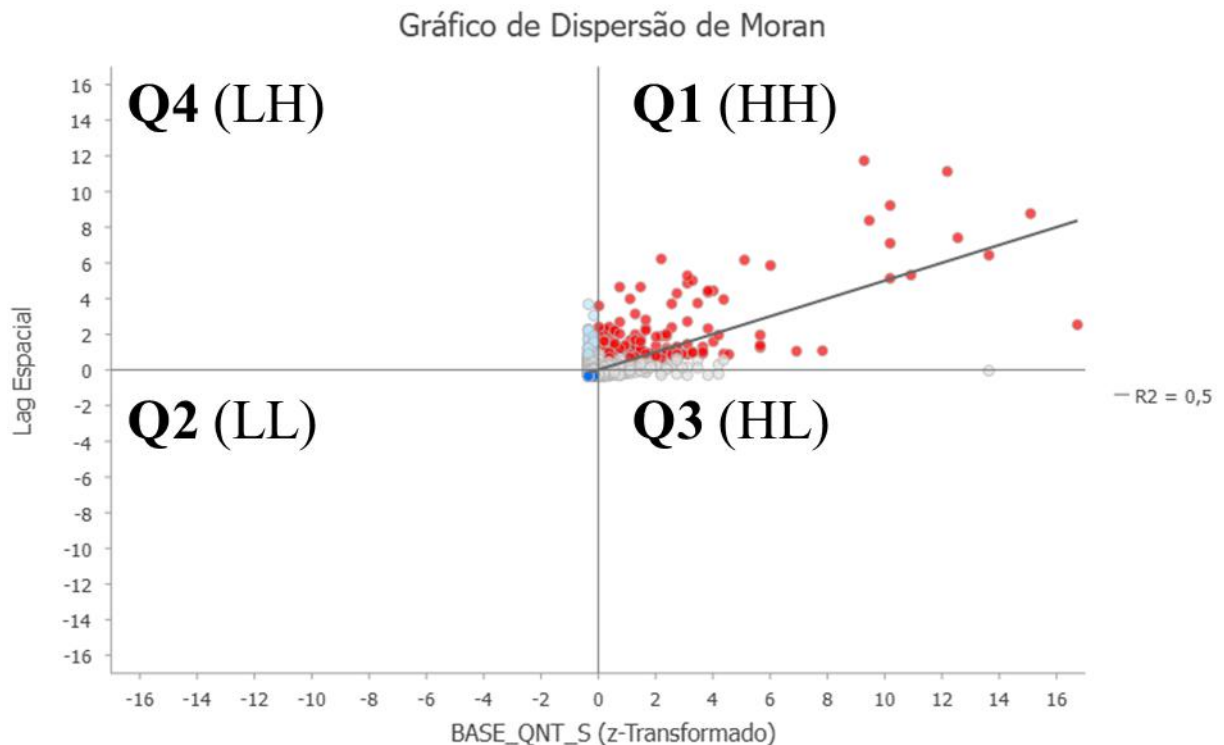


Fonte: Elaboração própria.

Esses resultados confirmam a significância estatística da autocorrelação espacial, evidenciando que áreas próximas tendem a registrar quantidades semelhantes de sinistros. Em outras palavras, existem concentrações espaciais de alta e baixa ocorrência, o que reforça a necessidade de análises locais, como o Indicador Local de Associação Espacial (LISA), para identificar aglomerados críticos.

O LISA completa essa análise ao identificar *clusters* locais de correlação espacial que resultam em cinco *hotposts*: não significativo, agrupamento *high-high* (HH), *outlier high-low* (HL), *outlier low-high* (LH) e agrupamento *low-low* (LL) (Bressane, 2020). Além, de que os recursos sem vizinhos terão o valor de campo NN, e os recursos que não são significativos tem texto vazio no campo (Esri, 2025). Na Figura 42 é possível observar o gráfico de dispersão de Moran, resultante da aplicação do índice no presente estudo.

Figura 42- Gráfico de dispersão de Moran resultante da aplicação do LISA para sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte

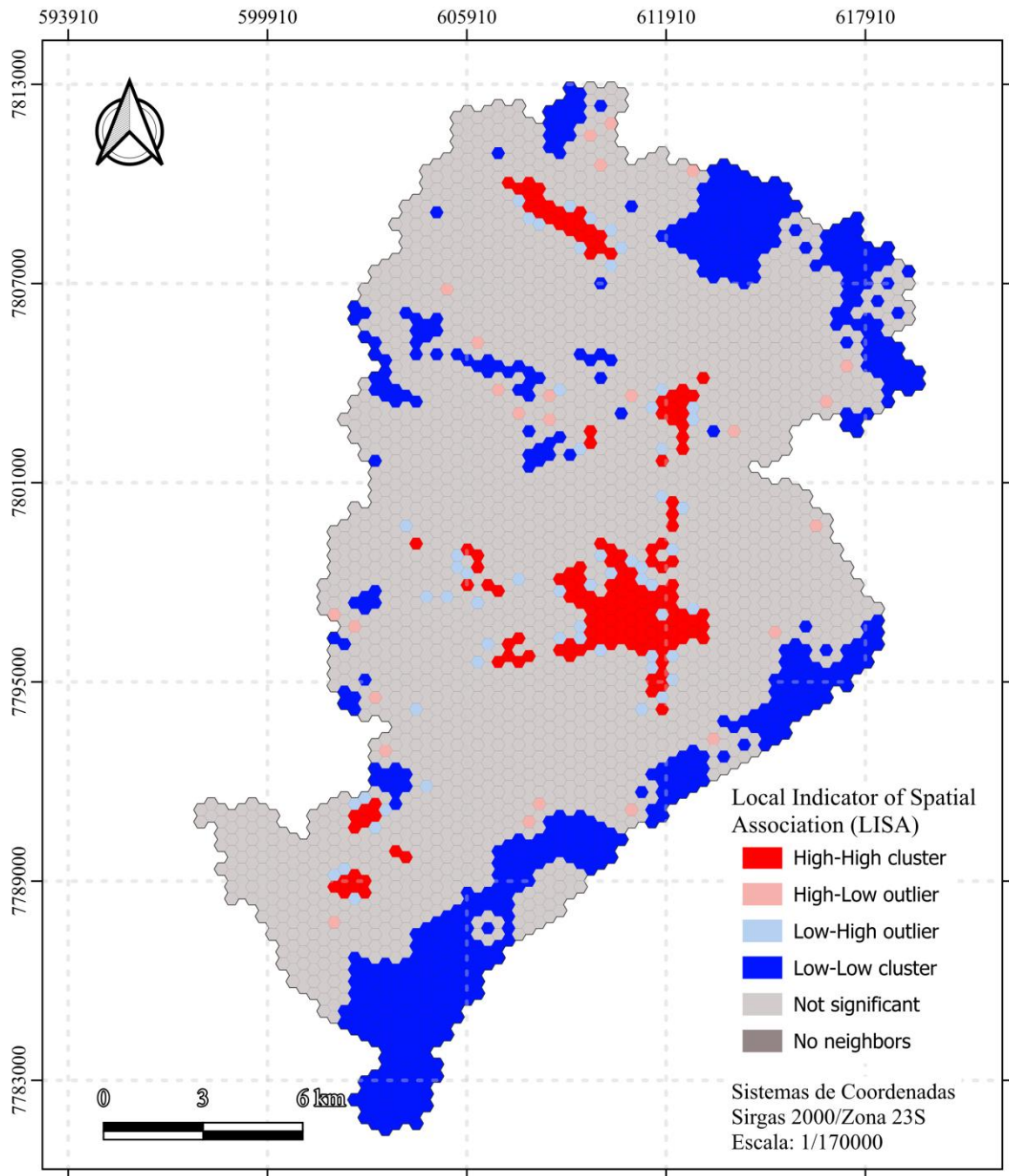


Fonte: Elaboração própria.

O diagrama é construído com base nos valores normalizados da variável, ou seja, os valores originais subtraídos do valor médio global, divididos pelo desvio-padrão (Luzardo; Filho; Rubim, 2017). É um gráfico bivariado em que o índice de Moran é representado como a inclinação de uma reta de regressão (Mosquera, 2018). Assim, quanto mais próximo da reta estabelecida (quadrantes Q1 e Q2) entende-se que a associação espacial entre os dados é positiva, enquanto que dados em quadrantes aos quais a reta não pertence (quadrantes Q3 e Q4) indica associação espacial negativa (Naizer, 2018).

Na Figura 43 há o mapa resultante da aplicação do LISA para o presente estudo. Nota-se que as áreas em vermelho escuro (HH) representam regiões com alta concentração de sinistros cercadas por regiões igualmente críticas, que demandam prioridade em intervenções. O quadrante *low-low* (LL) indica regiões de baixa ocorrência, cercadas por áreas também seguras. Já o *high-low* (HL) aponta locais com altos valores isolados em meio a áreas seguras, sugerindo pontos críticos específicos, enquanto o *low-high* (LH) revela áreas com poucos sinistros cercadas por regiões críticas, atuando como ilhas seguras que podem servir de referência para melhorias em seu entorno.

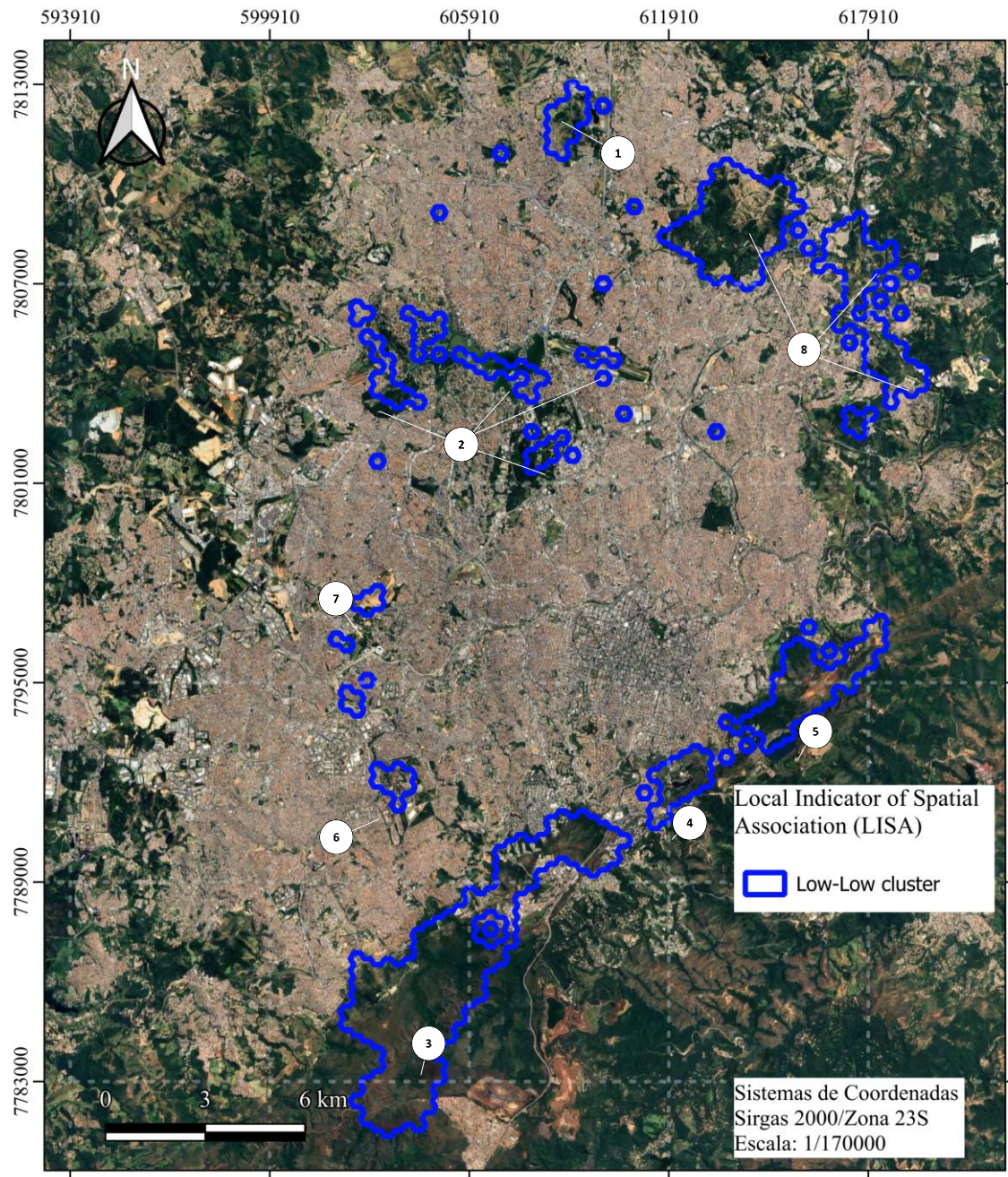
Figura 43- Local Indicator of Spatial Association (LISA)



Fonte: Elaboração própria.

As regiões de *low-low* (LL), indicadas como regiões de baixa ocorrência cercadas por áreas também seguras estão localizadas em sua maioria em áreas não urbanizadas ou privadas (Figura 44). Entre essas áreas destaca-se a região da Cidade Administrativa (1), da Lagoa da Pampulha, Jardim Zoológico, UFMG e Aeroporto Pampulha (2), Parque Estadual da Serra do Rola Moça (3), Serra do Curral (4), Parque das Mangabeiras (5), Vallourec (6), Aterro Sanitário (7) e vegetação das regionais Norte e Nordeste na divisa com os municípios de Santa Luzia e Sabará (8).

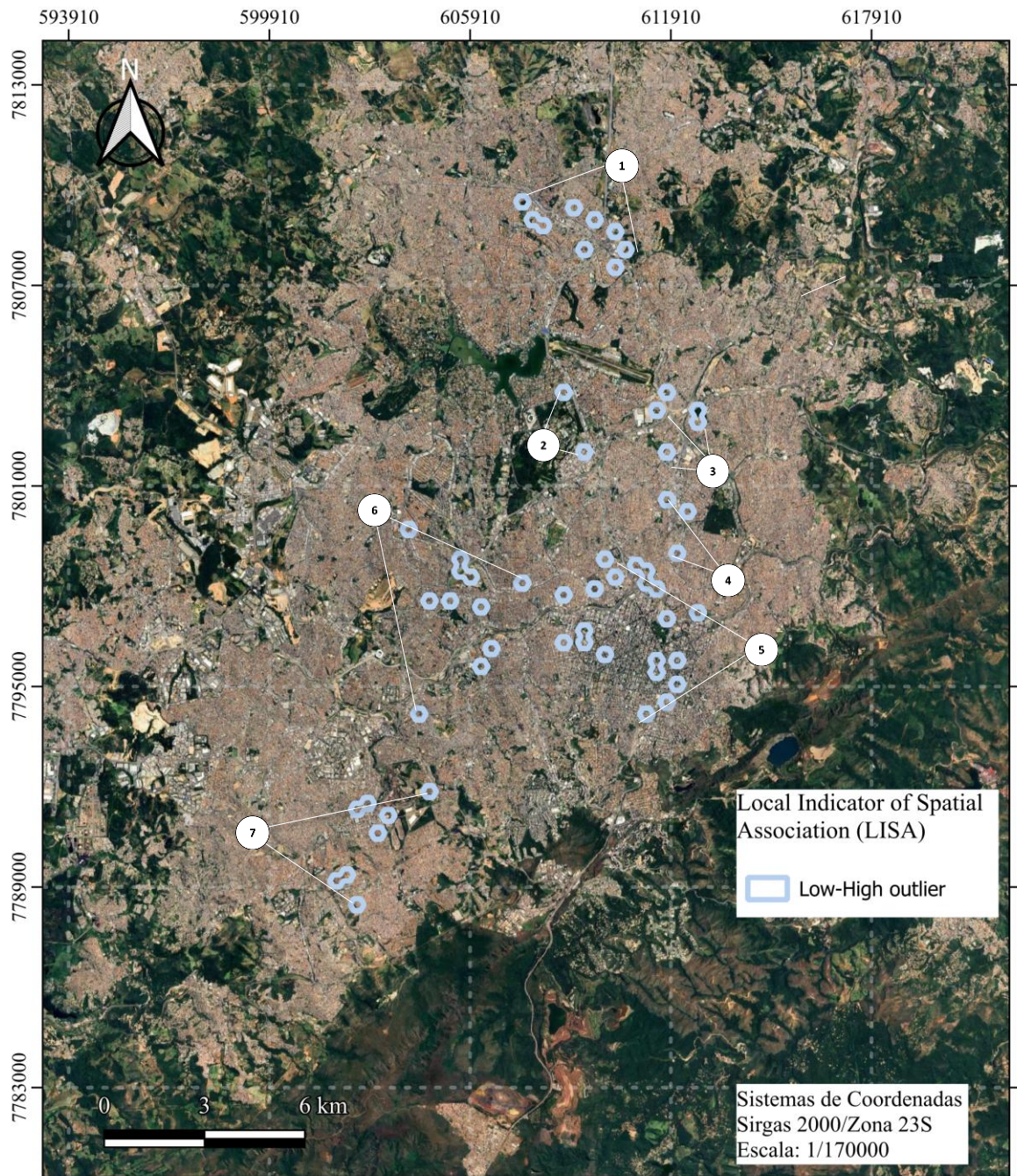
Figura 44- Local Indicator of Spatial Association (LISA)-Low-Low cluster



Fonte: Elaboração própria.

As áreas de *low-high* (LH) revelam locais com poucos sinistros cercadas por regiões críticas, atuando como ilhas seguras. Elas estão localizadas em pontos da Av. Vilarinho (1), UFMG (2), Viaduto Otto Lara Rezende (3), Av. Cristiano Machado (4), Região Central (5), Padre Eustáquio (6) e Barreiro (7). Grande parte dessas regiões estão localizadas no entrono das regiões críticas (HH), atuando como zonas de transição entre áreas críticas e áreas estáveis. Isso sugere que exista um gradiente espacial de risco em que áreas HH têm forte concentração de sinistros e suas bordas (LH) apresentam redução do risco, mas ainda são altamente influenciadas pelo entorno (Figura 45).

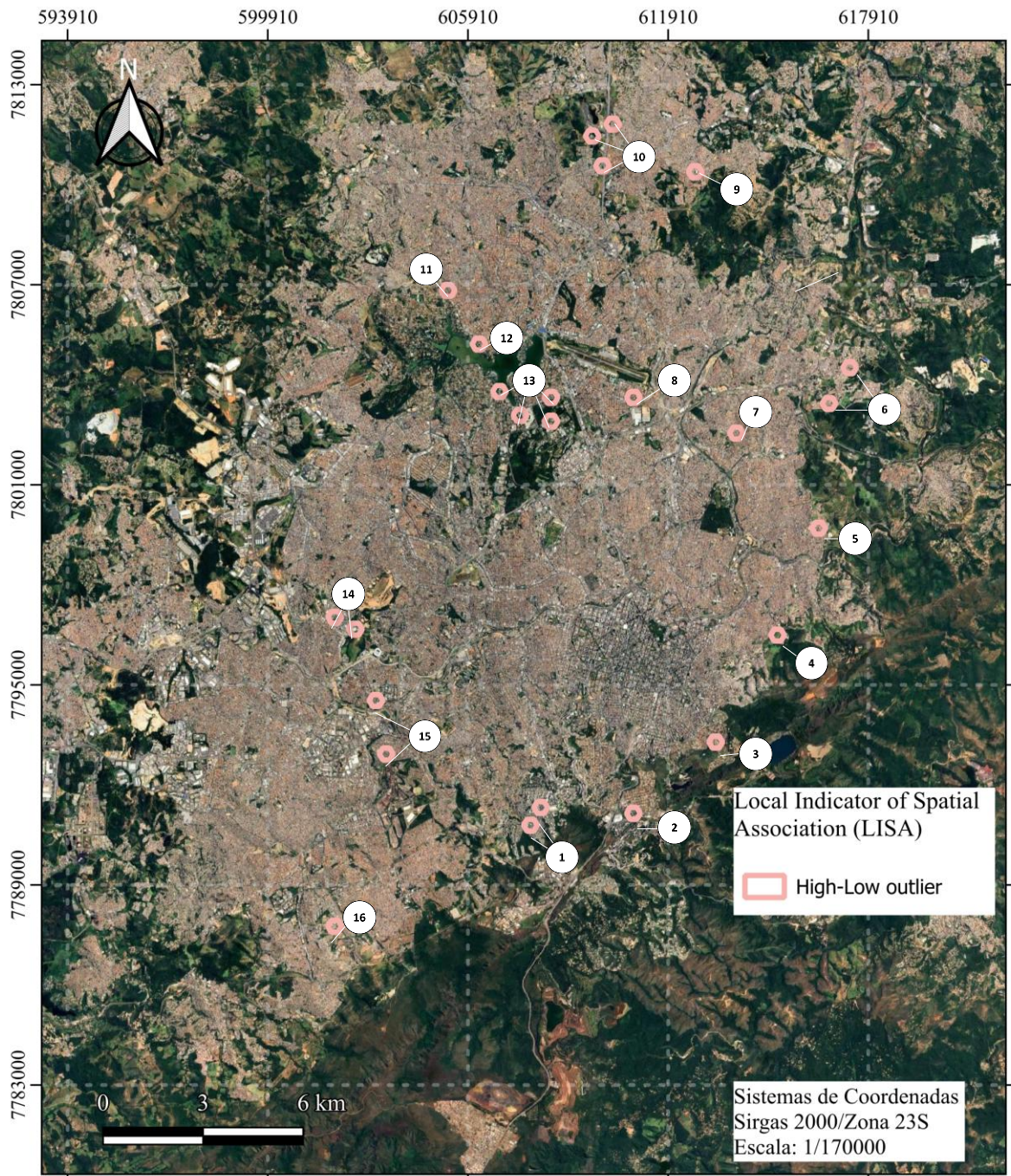
Figura 45- Local Indicator of Spatial Association (LISA)- Low-High cluster



Fonte: Elaboração própria.

As áreas de *high-low* (HL) apontam locais com altos valores isolados em meio a áreas seguras, sugerindo pontos críticos específicos. A análise dos hexágonos revela tipologias variadas, predominando usos residenciais de baixa intensidade, intercalados com áreas institucionais, equipamentos urbanos, áreas não urbanizadas e polos de atividade. Essa combinação indica que os pontos críticos não se relacionam a um único padrão de uso do solo, mas podem resultar de condições locais pontuais do sistema viário, circulação ou acessibilidade, que tornam esses trechos mais suscetíveis à ocorrência de sinistros (Figura 46).

Figura 46- Local Indicator of Spatial Association (LISA)- High-Low- cluster



Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 23 mostra detalhadamente a descrição das tipologias de uso e ocupação do solo e de alguns elementos presentes nas regiões *high-low-cluster* do (LISA). Os resultados evidenciam a existência de pequenos comércios e equipamentos urbanos, como escolas, hospitais e campos de futebol. Também se destacam zonas não urbanizadas, onde edificações isoladas assumem papel central, como o Hospital da Baleia e a Cidade Administrativa. Ademais, polos institucionais e de lazer, como a UFMG, o Mineirão e a Lagoa da Pampulha, reforçam a diversidade de usos.

Tabela 23- Descrição das regiões *High-Low-cluster* do (LISA)

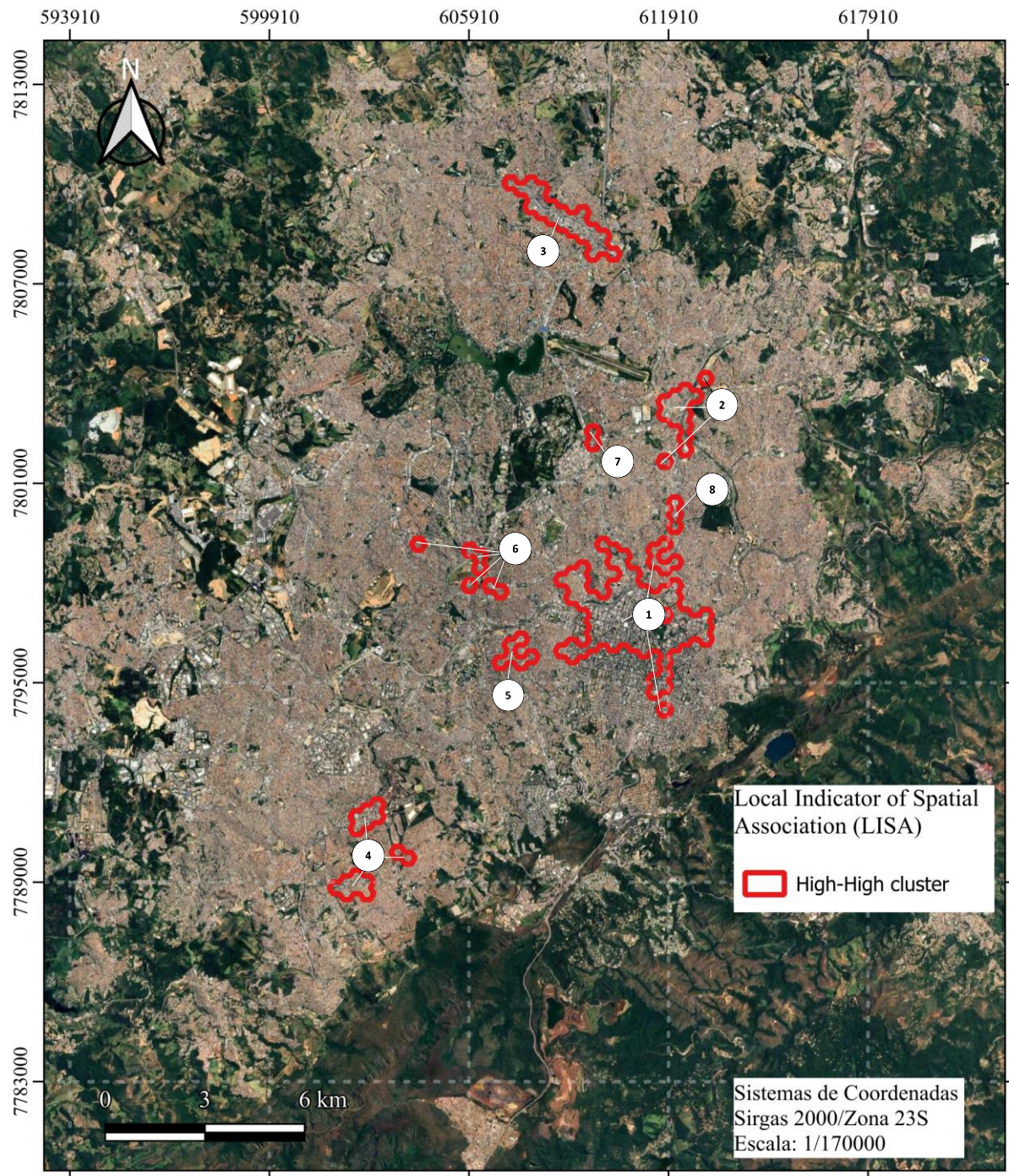
ID	Tipologia de uso e ocupação do solo	% em cruzamento
1	Tipologia predominantemente residencial com alguns comércios como supermercados, lojas e autoescola	11
2	Tipologia predominantemente residencial, com algumas edificações de uso misto	33
3	Tipologia predominantemente residencial	0
4	Área predominantemente não urbanizada, com destaque para única edificação: Hospital da Baleia	0
5	Tipologia predominantemente residencial, com presença de escola estadual.	50
6	Tipologia predominantemente residencial.	75
7	Tipologia predominantemente residencial.	50
8	Tipologia predominantemente residencial, com destaque para proximidade ao Aeroporto Pampulha.	50
9	Tipologia predominantemente residencial, com presença de campo de futebol.	50
10	Área predominantemente não urbanizada, com destaque para principal edificação existente: Cidade Administrativa.	17
11	Tipologia predominantemente residencial.	100
12	Tipologia predominantemente residencial, com destaque para orla da Lagoa da Pampulha.	100
13	Tipologia predominantemente não residencial, com destaque para principais polos como Parque Guanabara, Lagoa da Pampulha, Mineirão e Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).	60
14	Tipologia predominantemente não residencial, com destaque para edificações como indústria, oficina e transportadora.	17
15	Tipologia predominantemente residencial, com pequenos comércios locais	60
16	Tipologia predominantemente não residencial, com destaque para Igreja Cristã Maranata de Belo Horizonte.	0

Fonte: Elaboração própria.

A tabela também mostra o percentual de sinistros que ocorreram em cruzamentos para cada uma das regiões de HL. Os resultados revelam que 40% dos sinistros das áreas *high-low* (HL) ocorreram em cruzamentos, reforçando estudos anteriores de que áreas de cruzamentos apresentaram maior risco de sinistro (Obelheiro et al., 2020; Valdez, 2021; Butt et al., 2017; Rahman, Jamal e Al-Ahmadi, 2020). Assim, os resultados confirmam a relevância dos cruzamentos como pontos críticos de risco viário, evidenciando a necessidade de estratégias de intervenção que reforcem a importância de políticas públicas voltadas à segurança em interseções urbanas.

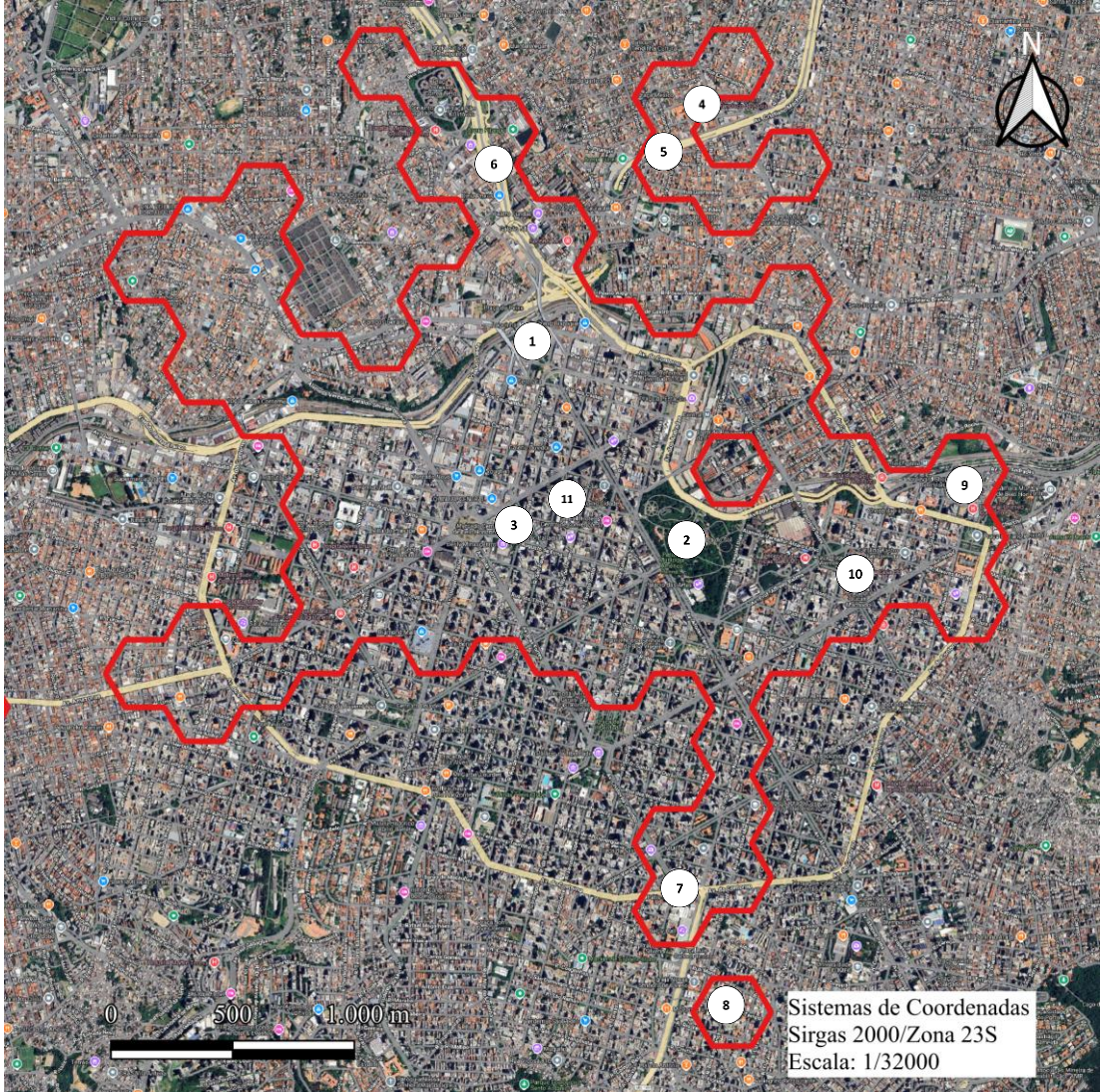
Em relação às áreas críticas, observa-se que a região central de Belo Horizonte é a zona com maior área de alta concentração de sinistros cercadas por regiões igualmente críticas, haja vista a área central de Belo Horizonte tem maior quantidade de empregos e conseqüentemente a maior presença da rede de transporte coletivo por ônibus (Castilho, 2021). Para fins de análise, as principais áreas críticas foram identificadas e numeradas na Figura 47. E a Tabela 24 mostra alguns elementos importantes nas regiões identificadas.

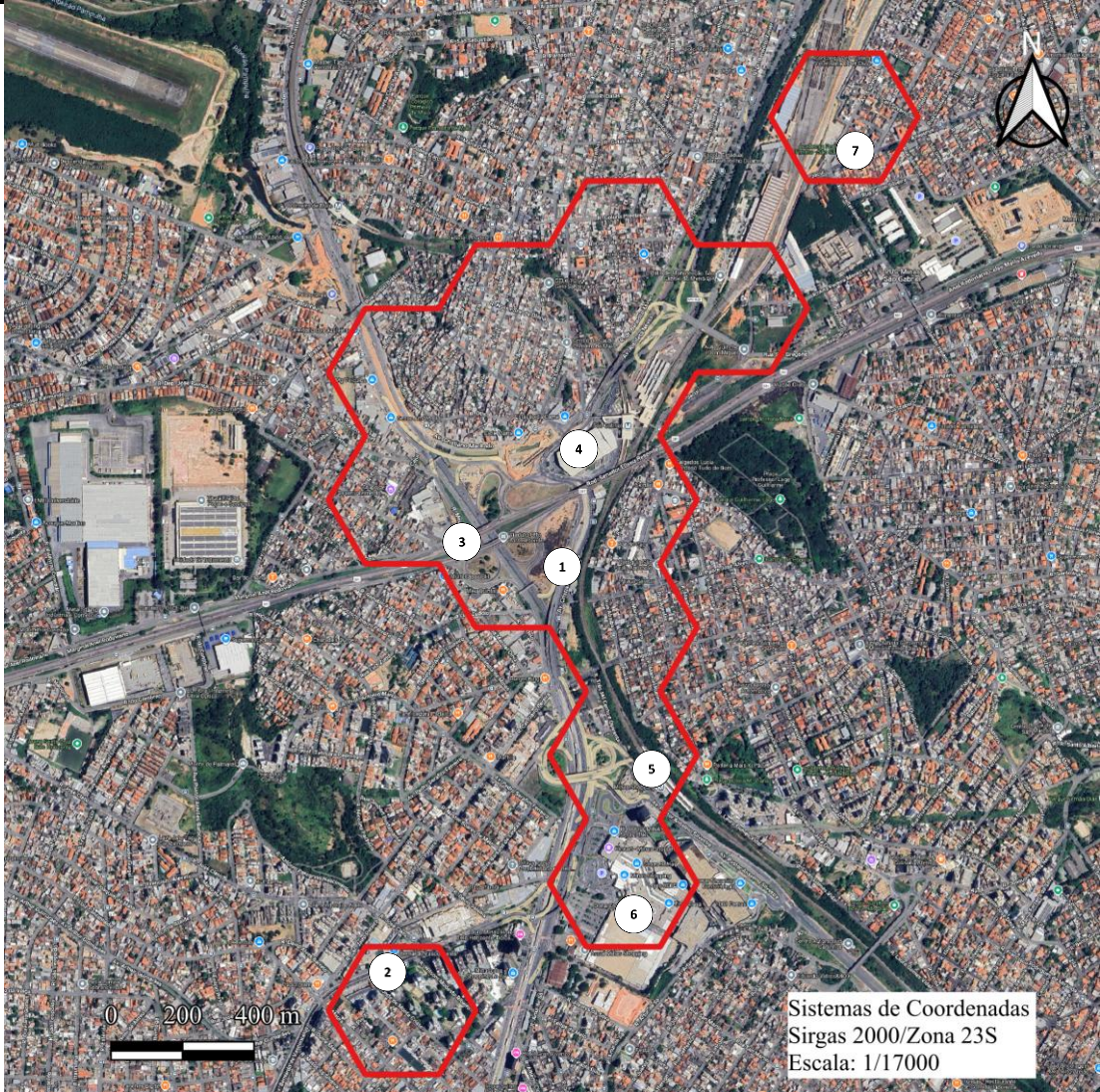
Figura 47- Local Indicator of Spatial Association (LISA)-High- High cluster




Fonte: Elaboração própria.

Tabela 24- Descrição das regiões *High- High - cluster* do (LISA)

ID	Figura	Referência
1		<p>Na regional Centro-Sul, o campo que mais atrai fluxos internos é o Centro, o mais importante polo comercial e de serviços da capital mineira (Lessa; Lobo, 2020). Dessa forma, a região central de Belo Horizonte é responsável pela maior disposição de empregos no município (Castilho, 2021). Na região há equipamentos e infraestruturas de grande e pequeno porte, responsáveis por uma intensa circulação de veículos e pedestres. Dentre esses equipamentos destacam-se terminais rodoviários, shoppings, empresas, hospitais e clínicas de saúde, parques municipais, etc. Ademais a região central também dispõe de importantes vias arteriais como a Av. Cristiano Machado, Av. do Contorno e Av. Presidente Antônio Carlos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Terminal Rodoviário de Belo Horizonte 2. Parque Municipal Américo Renné Giannetti 3. Mercado Central 4. Fundação Hospitalar São Francisco de Assis 5. Av. Cristiano Machado 6. Av. Presidente Antônio Carlos 7. Rua Passa Tempo 8. Av. do Contorno 9. Boulevard Shopping 10. Santa Casa de BH 11. Shopping Cidade

ID	Figura	Referência
2		<p>O viaduto Otto Lara Resende compõem o Complexo do Anel Rodoviário de Belo Horizonte (BRASIL, 2008). Ele conecta as vias Av. Cristiano Machado, importante corredor urbano, à BR-381, rodovia que conecta os estados de São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo. Na região, há a Estação São Gabriel e Estação Minas Shopping que possuem em sua área de influência a maior parte de polos geradores de viagem ligados à equipamentos de saúde (28,2%) galpões comerciais e/ou industriais (13,0%) e instituições de ensino (11,6%) (Ladislau, 2023). Além da presença do Minas Shopping, um dos elementos responsáveis pelo desenvolvimento da região (Lessa, 2019).</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Av. Cristiano Machado 2. Av. Bernardo de Vasconcelos 3. BR-381 4. Estação São Gabriel 5. Estação Minas Shopping 6. Minas Shopping 7. Rua Anapurus


ID	Figura	Referência
3		<p>A regional Venda Nova apresenta uma multiplicidade de pequenas centralidades de comércio e serviços que são caracterizados pela ocupação de pessoas de baixa renda em assentamentos populares (Lessa; Lobo, 2020). Assim, grande parte dos fluxos são provenientes das próprias regionais ou de regionais vizinhas (Lessa; Lobo, 2021). No entanto, Venda Nova apresenta alta concentração de linhas de ônibus e a presença de importantes estações de ônibus que integram sistema BRT, como as Estações Venda Nova, Vilarinho e Risoleta Neves (Castilho, 2021). Ademais, a região apresenta importantes corredores urbanos como as Avenidas Vilarinho e Dom Pedro I, juntamente à importantes polos geradores de viagem como a Faculdade FAMINAS, os Shoppings Estação BH e Norte e o Hospital Risoleta Tolentino Neves.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Av. Vilarinho 2. Rua Pedro Padre Pinto 3. Av. Dom Pedro I 4. Estação Vilarinho 5. Shopping Estação BH 6. Shopping Norte 7. Hospital Risoleta Tolentino Neves 8. Estação Risoleta Neves 9. FAMINAS 10. Estação Venda Nova

ID	Figura	Referência
4		<p data-bbox="1451 395 2056 1007">A regional Barreiro faz parte do eixo industrial da RMBH de “subúrbios industriais ferroviários”. A implantação da Mannesmann (atual Vallourec) nessa regional contribuiu para consolidar a região como forte polo industrial. É um espaço de relativa heterogeneidade, de forte traço popular e operários. Ademais, nela estão localizadas importantes atividades de comércio e serviços (Lessa; Lobo, 2020). Além disso, a centralidade Regional Barreiro tem alta concentração de linhas de transporte de ônibus, voltadas ao transporte intrarregional, devido à presença de estações de integração no interior destas centralidades (Castilho, 2021), como a Estação Barreiro e Estação Diamante. Nessa área também há a presença de polos geradores de viagens como o Hospital Metropolitano Dr. Célio de Castro e o Vila Shopping Barreiro. Além de importantes corredores urbanos como as Avenidas Olinto Meireles, Sinfrônio Brochado e a BR-040 que faz conexão entre os estados de Goiás, Minas Gerais e Rio de Janeiro.</p> <ol data-bbox="1503 1043 2018 1257" style="list-style-type: none"> 1. MG-040 2. Hospital Metropolitano Dr. Célio de Castro 3. Vallourec 4. Av. Olinto Meireles 5. Av. Sinfrônio Brochado 6. Estação Diamante 7. Vila Shopping Barreiro

ID	Figura	Referência
5		<p>Na região há o Anel Rodoviário de Belo Horizonte é uma importante via de ligação de um conjunto de rodovias federais e foi construído com a finalidade de preservar o centro urbano da capital mineira do atravessamento pelo tráfego rodoviário de longa distância (Andrade et al., 2019). Ele concentra o maior número de registros de sinistros fatais em Belo Horizonte, representando 38,4% (Cunha, 2019). Também há a Av. Dom Pedro II, grande e importante avenida da cidade, com elevado fluxo de veículos (Pereira; Cordeiro; Júnior, 2019). Além de polos geradores de viagem como o Hospital Alberto Cavalcante e o antigo Aeroporto.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Av. Abilio Machado 2. Hospital Alberto Cavalcante 3. Antigo Aeroporto 4. Av. Dom Pedro II 5. Anel Rodoviário

ID	Figura	Referência
6		<p>Na região há o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) é uma instituição de ensino centenária e oferece 144 cursos (94 técnicos, 23 graduações, 10 especializações, 14 mestrados e 3 doutorados). Também conta com mais de 16.600 alunos matriculados, distribuídos em onze campos (CEFET-MG, 2025), sendo um importante polo gerador de viagens. Também há a Av. Amazonas e Av. Silva Lobo, grandes e importantes avenidas da cidade, com elevado fluxo de veículos (Pereira; Cordeiro; Júnior, 2019).</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Av. Amazonas 2. Av. Silva Lobo 3. Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET)

ID	Figura	Referência
7		<p>Na região, há elementos como o 3º Batalhão de Bombeiros Militar, a Av. Cristiano Machado, importante corredor urbano, e o Parque Ecológico do Brejinho. O Parque atende à comunidade com um espaço de lazer, prática de esportes e que serve de travessia e integração para os moradores dos bairros da região (Prefeitura de Belo Horizonte, 2025). A maior parte da sua composição proporcional de Polos Geradores de viagem de sua área de influência é de 27,3% de garagens de transportadoras de passageiros e de cargas, 22,7% de galpões comerciais e/ou industriais e 18,2% de instituições de ensino, como a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) (Ladislau, 2023).</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Av. Presidente Antônio Carlos 2. Estação Colégio Militar 3. Rua Estoril 4. 3º Batalhão de Bombeiros Militar 5. Parque Ecológico do Brejinho

ID	Figura	Referência
8		<p>A região está localizada na centralidade Cidade Nova, local ocupado pela classe média que fomenta o mercado consumidor local. Ademais, o bairro, que dá o nome à centralidade, está localizado às margens da Avenida Cristiano Machado, que se afigura como um corredor arterial que, por si só, poderia ser considerado como uma “centralidade linear”, com farta oferta de comércio e serviços (Lessa; Lobo, 2021). Na área há importantes estações do sistema MOVE, BRT de Belo Horizonte: Estações Feira dos Produtores e Cidade Nova. Além de que também há o Parque Orlando Carvalho Silveira, também conhecido como Morro do Bolo. O parque possui entrada gratuita e oferece aparelhos de ginástica, local para caminhada, brinquedos e áreas de convivência que dialogam com os jardins, mobiliário urbano e mesas de jogos (Prefeitura de Belo Horizonte, 2025).</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Av. Cristiano Machado 2. Estação de BRT Cidade Nova 3. Estação de BRT Feira dos Produtores 4. Parque de Orlando Carvalho Silveira 5. Feira dos Produtores

Fonte: Elaboração própria

Os *clusters high-high* (HH) da região Centro-Sul refletem a influência da elevada densidade empregatícia e da intensa mistura de usos, conforme apontam Obelheiro et al. (2020). A presença de comércio, serviços, hospitais e vias arteriais cria um ambiente urbano complexo, com alto volume de interações de risco. Essa diversidade funcional, típica de áreas centrais, tende a aumentar a sinistralidade. Assim, o LISA confirma que ambientes densos e heterogêneos são mais propensos a concentrações de sinistros.

No entorno da Av. Cristiano Machado e do viaduto Otto Lara Resende, a combinação de shoppings, estações de transporte e fluxos regionais reforça a relação entre acessibilidade e sinistros discutida por Cervero et al. (2009). Esses espaços, altamente conectados, atraem grandes volumes de viagens e ampliam os conflitos viários. Como defendem Bressane (2020) e Hu et al. (2020), ambientes construídos complexos apresentam heterogeneidade espacial difícil de ser capturada por análises globais.

Venda Nova apresenta intenso movimento intrarregional e forte presença de transporte público, fatores associados ao aumento de sinistros (Aires, 2022). As estações do BRT, os shoppings e hospitais criam um ambiente de grande diversidade e densidade funcional. Lessa e Lobo (2021) mostram que essa multiplicidade de centralidades reforça fluxos locais e inter-regionais. Dessa forma, o *cluster high-high* reflete exatamente o que a literatura identifica como áreas críticas do ambiente construído.

No Barreiro, a coexistência de atividades industriais, hospitais, shoppings e vias estruturais como MG-040 e BR-040 cria um ambiente urbano de alta complexidade. Estudos mostram que áreas industriais e rodovias urbanizadas concentram sinistros devido ao alto volume e velocidade do tráfego (Butt et al., 2017). A própria diversidade de funções e fluxos reforça a heterogeneidade espacial descrita por Rahman, Jamal e Al-Ahmadi (2020). Assim, os resultados do LISA são compatíveis com os fatores de risco estruturais da região.

As áreas próximas ao Anel Rodoviário e à Av. Dom Pedro II apresentam características típicas de zonas com altos índices de sinistralidade: velocidade elevada, acessibilidade regional e presença de grandes polos de atração. A literatura indica que vias arteriais conectadas a rodovias urbanas acumulam riscos (Obelheiro et al., 2020). A presença de equipamentos como o Hospital Alberto Cavalcante reforça a dinâmica intensa de deslocamentos. Esses elementos explicam a forte concentração de sinistros evidenciada pelo LISA.

O entorno do CEFET-MG se destaca pela grande circulação de estudantes e pela presença de avenidas de alto fluxo, como Amazonas e Silva Lobo. Estudos mostram que áreas próximas a instituições de ensino e transporte coletivo apresentam maior incidência de sinistros (Cervero et al., 2009). Assim, o *cluster high-high* confirma a influência do ambiente construído na ocorrência desses eventos.

Na área que reúne o Parque Ecológico do Brejinho, o 3º Batalhão de Bombeiros e grandes corredores viários, observa-se um ambiente urbano diversificado e movimentado. Miranda-Moreno, Morency e El-Geneidy (2011) destacam que locais com equipamentos públicos e BRT apresentam circulação intensa de veículos e pedestres. A Av. Cristiano Machado, tratada como “centralidade linear” por Lessa e Lobo (2021), reforça o papel de eixos estruturantes na sinistralidade. Assim, a concentração HH é coerente com o perfil da região.

A centralidade Cidade Nova combina comércio, estações MOVE e espaços públicos como o Parque Orlando Carvalho Silveira, configurando um ambiente com uso misto e alta atratividade. A literatura aponta que áreas com diversidade funcional e proximidade ao transporte público tendem a registrar mais sinistros, conforme destacado por Obelheiro et al. (2020). A Av. Cristiano Machado novamente aparece como eixo de intenso fluxo e acessibilidade. Dessa forma, o resultado HH se alinha ao padrão teórico associado a áreas densas e multifuncionais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos permitem afirmar que os sinistros de trânsito envolvendo ônibus em Belo Horizonte apresentam dependência espacial significativa, confirmada pelos índices de Moran global e local. A existência de padrões não aleatórios demonstra que a distribuição desses eventos está fortemente associada a características do ambiente construído e das redes de mobilidade urbana. Tal dependência evidencia que os sinistros não ocorrem de forma isolada, mas se organizam em agrupamentos influenciados por fatores estruturais e funcionais da cidade.

As análises de densidade (EDK) e dos *clusters* LISA reforçam essa interpretação ao revelar a formação de áreas críticas bem definidas ao longo do território. As regiões com maiores concentrações de sinistros com destaque para o Hipercentro, a Estação São Gabriel, o entorno da Avenida Cristiano Machado e o cruzamento entre o Anel Rodoviário e a Avenida Dom Pedro II, demonstram uma estrutura espacial de *hotspots*. Essas áreas coincidem com setores de elevada conectividade, grande fluxo de ônibus e presença de usos urbanos intensivos.

A hipótese de que áreas de maior intensidade viária e maior fluxo de transporte coletivo concentrariam mais sinistros também foi confirmada. Corredores estruturais como as Av. Amazonas, Presidente Antônio Carlos, Cristiano Machado, Vilarinho e Dom Pedro II apresentaram maiores densidades de eventos, em concordância com autores que reforçam que vias arteriais e eixos de mobilidade com grande demanda tendem a registrar maior risco devido ao volume elevado de veículos, pedestres e integrações modais.

Os resultados também mostraram que polos geradores de viagens, como shopping centers, hospitais, instituições de ensino, estações metroviárias e BRT, exercem papel determinante na configuração espacial dos sinistros. Exemplos incluem o entorno do CEFET-MG, a centralidade Cidade Nova, a região do Barreiro industrial e a própria área central da cidade. A diversidade funcional e a atratividade desses espaços intensificam deslocamentos e interações viárias, contribuindo para os padrões encontrados.

Ao mesmo tempo, áreas classificadas como *low-low* se concentraram em zonas com baixa urbanização ou uso restrito, como parques, áreas de proteção ambiental, instalações industriais e equipamentos de grande porte. Esse achado confirma que a presença de sinistros está fortemente correlacionada à densidade de atividades urbanas e à disponibilidade de

infraestrutura viária. Assim, regiões como a Pampulha, Serra do Curral, Parque das Mangabeiras e Cidade Administrativa se destacaram como áreas estáveis e de baixa ocorrência.

O presente estudo contribuiu cientificamente para a comunidade acadêmica ao demonstrar a aplicabilidade de métodos de análise espacial, como Moran e LISA, na investigação da segurança viária em contextos urbanos complexos. Ao integrar técnicas de estatística espacial com dados de mobilidade e uso do solo, a pesquisa amplia o entendimento sobre a relação entre infraestrutura, fluxos de transporte coletivo e ocorrência de sinistros. Essa abordagem interdisciplinar fortalece o campo da geografia urbana e dos estudos de transporte, oferecendo evidências empíricas que podem subsidiar novas agendas de pesquisa e fomentar comparações com outras cidades brasileiras e internacionais.

Por fim, embora as análises tenham identificado dependência espacial e áreas críticas, os resultados reforçam a necessidade de avançar na explicação estatística desses padrões. Dessa forma, recomenda-se que estudos futuros apliquem análises como Regressão Geograficamente Ponderada (GWR), que permite avaliar como variáveis-chave, como densidade populacional, características viárias, usos do solo e condições de acessibilidade, influenciam de maneira diferenciada a distribuição espacial dos sinistros. Essa abordagem contribuirá para um entendimento mais robusto das relações espaço-viário e poderá orientar políticas públicas mais precisas e eficazes para a melhoria da segurança do transporte coletivo.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 14040-1. Inspeção de segurança veicular — Veículos leves e pesados: Parte 1: Diretrizes básicas. . 2023.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10697:2020. Pesquisa de sinistros de trânsito — Terminologia. . 2020.

AIRES, Ruth Otamária Da Silva. **Uso de Índice de Ambiente Construído para Análise Espacial dos Atropelamentos em São Paulo**. Dissertação de Mestrado—São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2022.

ALMASI, Seyed Ahmad; BEHNOOD, Hamid Reza. Exposure based geographic analysis mode for estimating the expected pedestrian crash frequency in urban traffic zones; case study of Tehran. **Accident Analysis & Prevention**, v. 168, p. 106576, 1 abr. 2022.

ALMEIDA, Fabrício Moraes de. **Engenharia de Transportes: conceitos fundamentais e aplicações práticas**. [S.l.]: Atena Editora, 2023.

AL-OMARI, Aslam *et al.* Prediction of traffic accidents hot spots using fuzzy logic and GIS. **Applied Geomatics**, v. 12, n. 2, p. 149–161, 1 jun. 2020.

ALVES, Rodrigo Radaelli. Os impactos e desafios ao transporte público coletivo de Porto Alegre causados pela pandemia de COVID-19. 2023.

ANDRADE, Mauricio Oliveira de; DOURADO, Anísio Brasileiro de Freitas; SOUZA JR, Sérgio Roberto Leal de. Influência do transporte por aplicativos na demanda por transporte público entre estudantes universitários da Região Metropolitana do Recife no contexto da pandemia da Covid-19. **Revista Transporte y Territorio**, n. 27, 3 dez. 2022.

ANDRADE, Rafael Quintão *et al.* AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA VELOCIDADE REGULAMENTAR NO DESEMPENHO OPERACIONAL DO ANEL RODOVIÁRIO DE BELO HORIZONTE. **33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET Balneário Camboriú-SC, 10 de Novembro a 14 de Novembro de 2019**, 2019.

ANSELIN, L. **Spatial econometrics: methods and models**. 1. ed. [S.l.]: Modelagem Espacial, 1988.

ANSELIN, L. **An Introduction to Spatial Data Science with GeoDa**. [S.l.: S.n.].

ANSELIN, Luc. **Local Spatial Autocorrelation - LISA and Local Moran**. Disponível em: <https://geodacenter.github.io/workbook/6a_local_auto/lab6a.html>. Acesso em: 20 jul. 2025.

ARAÚJO, Marley Rosana Melo de *et al.* Transporte público coletivo: discutindo acessibilidade, mobilidade e qualidade de vida. **Psicologia & Sociedade**, v. 23, p. 574–582, dez. 2011.

ASSAKAWA, Beatriz; CONTI, Diego de Melo; QUARESMA, Cristiano Capellani. IMPACTOS DA COVID-19 NO CENÁRIO DA MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL BRASILEIRA. **Revista Gestão em Análise**, v. 11, n. 1, p. 98–108, 2022.

ASSUMPÇÃO, Augusto César da Cunha *et al.* Análise da correlação espacial do índice de desenvolvimento humano e a acessibilidade a empregos baseado em previsão de tempo de viagem por ônibus com dados de tráfego em tempo real. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 11, p. 20132–20157, 17 nov. 2023.

BABOSA, Bárbara De Jesus. ANÁLISE DO CRUZAMENTO CRÍTICO DA AVENIDA T-10 COM A RUA T-27 NO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA - GO. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA. 2022.

BAGGI, Márcia S.; MORENO DELGADO, Juan Pedro. Mobilidade urbana na era digital: impactos do teletrabalho na mobilidade e espaço urbano. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE VIRTUAL CITY AND TERRITORY. **8º Congresso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, Río de Janeiro, 10, 11 y 12 Octubre 2012**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/2099/13413>>. Acesso em: 4 mar. 2025

BARRETO, Camila Belleza Maciel. **Método para concepção e gestão de sistemas de controle de velocidade em redes viárias**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil—Santa Catarina: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2015.

BATISTA, Rogério Costa; SOUZA, Thaís Barbosa de; MOREIRA, Alex Gomes. CATEGORIZAÇÃO DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO EM PRIMAVERA DO LESTE – MT NO INTUITO DE SUBSIDIAR POLÍTICAS PÚBLICAS PARA DIMINUIÇÃO DE SUA OCORRÊNCIAS. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 3, p. 1367–1375, 31 mar. 2022.

BENTO, Andressa de Lucca *et al.* Corredores exclusivos de transporte coletivo: evidências sobre eficiência, relevância ambiental e impacto social. *In*: **Corredores exclusivos de transporte coletivo: evidências sobre eficiência, relevância ambiental e impacto social**. [S.l.: S.n.]. p. 21–21.

BH TRANS. **NÚMEROS DO TRANSPORTE COLETIVO**. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/bhtrans/informacoes/transparencia/transparencia-no-transporte-coletivo/numeros-transporte-coletivo>>. Acesso em: 1 jun. 2025.

BRAGA FILHO, Francisco Marcelo Alves *et al.* ACIDENTES AUTOMOBILÍSTICOS: CAUSAS, IMPACTOS E MEDIDAS PREVENTIVAS. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 8, p. 1639–1646, 1 ago. 2024.

BRAGA, L. F.; CASTRO, D. M. IMPACTO ECONÔMICO CAUSADO POR SINISTROS DE TRÂNSITO NO ESTADO DE MINAS GERAIS COM APLICAÇÃO DE RETURN ON INVESTMENTS (ROI). 2024.

BRASIL. 9503. LEI Nº 9.503, DE 23 DE SETEMBRO DE 1997. . 1997.

BRASIL. 11.878. LEI Nº 11.878, DE 19 DE DEZEMBRO DE 2008. . 2008.

BRASIL. LEI Nº 12.587, DE 3 DE JANEIRO DE 2012. Política Nacional de Mobilidade Urbana. . 2012.

BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito. Resolução CONTRAN nº 808, de 15 de dezembro de 2020. Dispõe sobre o Registro Nacional de Acidentes e Estatísticas de Trânsito (RENAEST). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 dez. 2020. . 2020.

BRENTINI, Guilherme Dias; HIROSUE, Fernando Hideki. Influência da uber no uso do sistema de transporte por ônibus pela comunidade universitária de São Carlos-SP durante a pandemia de covid-19. **Exatas & Engenharias**, v. 11, n. 33, p. 34–47, 2021.

BRESSANE, Samir Borges. **Ferramentas espaciais em SIG para a análise de acidentes de trânsito: estudo de caso com veículos pesados nas rodovias federais do Estado do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado—Rio de Janeiro: Pontífica Universidade Católica, 2020.

BUTT, Amna *et al.* GIS based surveillance of road traffic accidents (rta) risk for Rawalpindi city: a geo-statistical approach. **Kuwait Journal of Science**, v. 44, n. 4, 1 nov. 2017.

CALVO-POYO, Francisco; NAVARRO-MORENO, José; OÑA, Juan de. Road Investment and Traffic Safety: An International Study. **Sustainability**, v. 12, n. 16, p. 1–15, 2020.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro De; LUCAS, Vander Mendes. **AVALIAÇÃO DE POLÍTICAS DE CUSTEIO EXTRATARIFÁRIO DOS SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO NO BRASIL**. [S.l.]: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2023.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de. **Custos dos acidentes de trânsito no Brasil: Estimativa simplificada com base na atualização das pesquisas do Ipea sobre custos de acidentes nos aglomerados urbanos e rodovias**. [S.l.]: Texto para Discussão, 2020. Disponível em: <<https://www.econstor.eu/handle/10419/240760>>. Acesso em: 5 jan. 2025.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de; GUEDES, Erivelton Pires. **Balanco da primeira década de ação pela segurança no trânsito no Brasil e perspectivas para a segunda década**. Brasília, DF: IPEA Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2023.

CARVALHO, Fernanda Santana; MACHADO, Cláudia A. Soares; BERNUCCI, Liedi Légi Bariani. Análise da implementação de mistura asfáltica com granulometria do tipo descontínua para redução de acidentes em pista molhada. **Transportes**, v. 28, n. 3, p. 137–151, 31 ago. 2020.

CASTILHO, Luís Otávio Rocha. Centralidades urbanas : proposta de classificação com base nos fluxos de viagens em Belo Horizonte – MG. 19 fev. 2021.

CEFET-MG. **História | Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais**. Disponível em: <<https://www.cefetmg.br/instituicao/historia/>>. Acesso em: 9 nov. 2025.

CERVERO, Robert *et al.* Influences of Built Environments on Walking and Cycling: Lessons from Bogotá. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 3, n. 4, p. 203–226, 23 jun. 2009.

CHEN, Peng; ZHOU, Jiangping. Effects of the built environment on automobile-involved pedestrian crash frequency and risk. **Journal of Transport & Health**, Built Environment, Transport & Health. v. 3, n. 4, p. 448–456, 1 dez. 2016.

CNT, Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa CNT de Mobilidade da População Urbana**. [S.l.: S.n.].

CNT, Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa CNT Perfil Empresarial 2023 - Transporte Rodoviário Urbano de Passageiros**. [S.l.: S.n.].

CNT, Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa CNT de Mobilidade da População Urbana**. Brasil: [S.n.]. Disponível em: <<https://cnt.org.br/documento/a7b963d2-4f4c-4072-a4ba-6e0607ae7bfa>>.

COLOMBO, Sanielen *et al.* O impacto da Pandemia do COVID-19 no transporte coletivo no Município de Cuiabá – Mato Grosso/ The impact of the COVID-19 Pandemic on public transportation in the City of Cuiabá - Mato Grosso. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 53225–53240, 7 jun. 2021.

CORDEIRO, C. H. L. *et al.* QUANTO CUSTAM OS ACIDENTES DE TRÂNSITO NAS CIDADES PEQUENAS DE MINAS GERAIS? 2021.

COSTA, Danielly Cristina de Souza; MORAES, Ronei Marcos de. ANÁLISE DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO UTILIZANDO TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPACIAL. 2009.

CUNHA, Izabella Bauer de Assis. **Modelagem da informação para cidades inteligentes: aplicação em acidentes de trânsito de Belo Horizonte**. Dissertação de Mestrado—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 22 mar. 2019.

CYGANCZUK, Marilyn de Souza; PINTO, José Simão de Paula; BASTOS, Jorge Tiago. APLICAÇÃO DA MINERAÇÃO DE DADOS NA ANÁLISE DE SINISTROS DE TRÂNSITO ENVOLVENDO COLISÕES NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS NO PARANÁ. **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 11, p. 20915–20936, 8 nov. 2023.

DAMSERE-DERRY, James *et al.* Injury-severity analysis of intercity bus crashes in Ghana: A random parameters multinomial logit with heterogeneity in means and variances approach. **Accident Analysis & Prevention**, v. 160, p. 106323, 1 set. 2021.

DANTAS, Niara Fernandes Barbosa Formiga. **Transporte público por ônibus e segregação urbana: um estudo sobre acesso a oportunidades em João Pessoa - PB**. Dissertação. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br>>. Acesso em: 9 set. 2024.

DAVILA, Rogerio. Os Acidentes de Trânsito como Agente Influyente nos Indicadores Socioeconômicos dos Centros Urbanos: Um estudo de caso para a cidade de Belo Horizonte. **Cadernos do Leste**, v. 21, n. 21, 31 dez. 2021.

DE CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro; LUCAS, Vander Mendes. **Novas fontes de custeio do transporte público urbano: Princípios e potencialidades**. [S.l.]: Texto para Discussão, 2022. Disponível em: <<https://www.econstor.eu/handle/10419/284880>>. Acesso em: 6 mar. 2025.

DEL SARTO, Adélia Suzana Barreiro *et al.* CONTRIBUIÇÕES DA PÓS-GRADUAÇÃO SOBRE EDUCAÇÃO PARA O TRÂNSITO. **Psicologia da Educação**, n. 51, p. 42–50, jul. 2020.

DER, /São Paulo. Manual de Segurança Viária. **GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM**, 2023.

DING, Tongqiang *et al.* Bus Fleet Accident Prediction Based on Violation Data: Considering the Binding Nature of Safety Violations and Service Violations. **Sustainability**, v. 15, n. 4, p. 3520, jan. 2023.

DING, Tongqiang *et al.* Accident Probability Prediction and Analysis of Bus Drivers Based on Occupational Characteristics. **Applied Sciences**, v. 14, n. 1, p. 279, jan. 2024.

DOMENEGHINI, Jennifer. **A integração entre micromobilidade e o transporte público coletivo no contexto de cidades latino-americanas**. Tese de Doutorado—Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2024.

DRUCK, S. *et al.* **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004.

ESRI. **ArcGis Pro.** , 2025. Disponível em: <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/modeling-spatial-relationships.htm#GUID-C1AA822F-092C-4E5B-8B85-6174CF35E0DC>>

FERRARA, THIAGO MENDES. ANÁLISE DA QUEDA DE DEMANDA DO TRANSPORTE PÚBLICO DE ANÁPOLIS DEVIDO AOS APLICATIVOS DE TRANSPORTE PRIVADO URBANO. 2020.

FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto “Coca” *et al.* **Segurança viária**. Núcleo de Estudos de Segurança no Trânsito,-Departamento de Transportes Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo: Suprema Gráfica e Editora, 2012.

FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto “Coca” *et al.* **Segurança no Trânsito**. Observatório Nacional de Segurança Viária: [S.n.].

FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto “Coca” *et al.* **Transporte Público Coletivo Urbano**. São Carlos-SP: Rima, 2024.

FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto “Coca” *et al.* **Transporte Público Coletivo**. São Carlos-SP: Rima, 2024.

FILARDI, Fernando. **Estratégias Para a Redução Dos Acidentes De Trânsito No Brasil**. Rio de Janeiro, RJ: Solares Ação e Cidadania, 2023.

FOLHA DE SÃO PAULO; GONZÁLEZ, Christianne; PEIXOTO, Paulo. Folha de S.Paulo - Tragédia: Nove morrem em queda de ônibus em BH - 17/07/99. 1999.

FREIRE, Sheila Azevedo *et al.* Mobilidade e acessibilidade potencial da população de baixa renda: uma avaliação pela lente da abordagem das capacidades. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 16, n. 8, p. 11648–11670, 18 ago. 2023.

G1; ARAÚJO, Alex. **Acidente com ônibus 1505 que caiu no Ribeirão Arrudas, matou nove e feriu 52 em BH completa 20 anos**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/07/16/acidente-com-onibus-1505-que-caiu-no-ribeirao-arrudas-matou-nove-e-feriu-52-em-bh-completa-20-anos.ghtml>>. Acesso em: 5 jan. 2025.

GARCIA, Gabriel Canhete Silva; TAVEIRA, Silas Ferreira. TRANSPORTE, TRÂNSITO E MEIO AMBIENTE: UM OLHAR PARA O TRANSPORTE DE PÓ DE BRITA COM COBERTURA DE LONA PARA CAMINHÕES DO TRANSPORTE URBANO. 2022.

GARCÍA, M. Jaime A. *et al.* Safety performance of dedicated and preferential bus lanes using multivariate negative binomial models for Bogotá, Colombia. **Accident Analysis & Prevention**, v. 202, p. 107595, 1 jul. 2024.

GITELMAN, V.; DOVEH, E. A comparative evaluation of the safety performance of bus priority route configurations. **European Transport Research Review**, v. 15, n. 1, 2023.

GOMES, Marcos José Timbó Lima *et al.* Análise exploratória para a modelagem da frequência de acidentes de trânsito agregados ao nível de zonas de tráfego. **TRANSPORTES**, v. 23, n. 4, p. 42–50, 9 nov. 2015.

HAN, Wanli; ZHAO, Jianyou. Driver behaviour and traffic accident involvement among professional urban bus drivers in China. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 74, p. 184–197, 1 out. 2020.

HU, Lin *et al.* Investigation of clusters and injuries in pedestrian crashes using GIS in Changsha, China. **Safety Science**, v. 127, p. 104710, 1 jul. 2020.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Belo Horizonte: *[S.n.]*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>>. Acesso em: 5 jun. 2024.

IPEA. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas aglomerações urbanas brasileiras: Relatório Executivo**. São Paulo: *[S.n.]*.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Estimativa dos Custos dos Acidentes de Trânsito no Brasil com Base na Atualização Simplificada das Pesquisas Anteriores do Ipea**. Brasília, DF: *[S.n.]*. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7456/1/RP_Estimativa_2015.pdf>.

ITDP BRASIL. **Mapeamento do uso e abertura de dados a gestão do transporte público coletivo nos municípios brasileiros**. Enap - Escola Nacional de Administração Pública: *[S.n.]*.

ITDP, INSTITUTE FOR TRANSPORTATION & DEVELOPMENT POLICY. **Gestão da Mobilidade: Modelo de mobilidade atual e seus impactos**. MobilicAMPUS, 2021. Disponível em: <<http://mobilicampus.org.br/>>. Acesso em: 23 nov. 2025

KIBAR, Funda Ture; TUYDES-YAMAN, Hediye. GIS-based evaluation of the speed limit increase on urban arterial traffic safety in Ankara. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 13, n. 12, p. 476, 14 jun. 2020.

KIM, Kanghyun; HONG, Jungyeol. Severity Predictions for Intercity Bus Crashes on Highway Using a Random Parameter Ordered Probit Model. **Sustainability**, v. 15, n. 17, p. 13131, jan. 2023.

KIM, Karl *et al.* Entropy and Accidents. **Transportation Research Record**, v. 2280, n. 1, p. 173–182, 1 jan. 2012.

KIM, Karl; PANT, Pradip; YAMASHITA, Eric. Accidents and Accessibility: Measuring Influences of Demographic and Land Use Variables in Honolulu, Hawaii. **Transportation Research Record**, v. 2147, n. 1, p. 9–17, 1 jan. 2010.

KNEIB, Erika Cristine. Transporte público coletivo: dos desafios globais ao panorama brasileiro / Public transport: from global challenges to the brazilian panorama. **Revista de Direito da Cidade**, v. 14, n. 2, p. 794–819, 27 abr. 2022.

LADISLAU, Felipe Fernandes. Áreas de influência das estações de transferência e de integração do sistema MOVE em Belo Horizonte-MG. 5 maio 2023.

LAVARINI, Mateus Maria; CORDEIRO, Bruna Barradas; ALMEIDA, Thiago Cordeiro. Políticas de mobilidade e gestão da pandemia em Belo Horizonte (MG), Brasil. **I Seminário Nacional - Urbanismo, Tempo e Espaço**, v. 1, n. 1, 2020.

LEGRAMANTI, Gabriela. **Utilização de sistema de informações geográficas na tomada de decisões do sistema viário com base em dados de acidentes de trânsito no município de Pato Branco**. Dissertação de Mestrado—[S.l.]: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 7 jul. 2021.

LESSA, D. A.; LOBO, C. AS CENTRALIDADES URBANAS E A MOBILIDADE INDIVIDUAL MOTORIZADA EM BELO HORIZONTE/MG. *In*: 9º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL (PLURIS 2021 DIGITAL) PEQUENAS CIDADES, GRANDES DESAFIOS, MÚLTIPLAS OPORTUNIDADES. **Anais...** 2021.

LESSA, Daniela Antunes. **Mobilidade e acessibilidade ao transporte coletivo por ônibus: evidências e contradições no caso de Belo Horizonte-MG**. Tese de Doutorado—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.

LESSA, Daniela Antunes; LOBO, Carlos. Mobilidade e a atração de viagens de ônibus da área central de Belo Horizonte. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 12, p. e20190229, 2020.

LI, Zhitao *et al.* Investigating urban mobility through multi-source public transportation data: A multiplex network perspective. **Applied Geography**, v. 169, p. 103337, 1 ago. 2024.

LIBÂNIO, André Augusto Cunha. **Avaliação da problemática da acessibilidade e mobilidade às oportunidades de trabalho em Belo Horizonte**. Dissertação de Mestrado—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2020.

LIMA, Gregório Costa Luz de Souza *et al.* **Transporte público e COVID-19**. Rio de Janeiro: Centro de Estudos em Regulação e Infraestrutura da Fundação Getúlio Vargas (FGV CERI), 2020. Disponível em: <https://ceri.fgv.br/sites/default/files/publicacoes/2020-05/covid_e_mobilidade_urbana_0.pdf>.

LINHARES, Guilherme Rodrigues. **Redução de acidentes rodoviários por derrapagem com emprego de tratamento superficial duplo com asfalto modificado por borracha**. dissertação—[S.l.]: Universidade de São Paulo, 2021.

LIYOU, James J. H. *et al.* A hybrid model integrating FMEA and HFACS to assess the risk of inter-city bus accidents. **Complex & Intelligent Systems**, v. 8, n. 3, p. 2451–2470, 1 jun. 2022.

LOPES, Simone Becker. **Efeitos da dependência espacial em modelos de previsão de demanda por transporte**. Dissertação de Mestrado—[S.l.]: Universidade de São Paulo, 2005.

LUCAS, Karen *et al.* Transport poverty and its adverse social consequences. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport**, v. 169, n. 6, p. 353–365, dez. 2016.

LUZARDO, Antonio José Rocha; FILHO, Rafael March Castañeda; RUBIM, Igor Brum. ANÁLISE ESPACIAL EXPLORATÓRIA COM O EMPREGO DO ÍNDICE DE MORAN. v. 19, n. 40, 2017.

MACHADO, Rafaela César. Prevalência de fatores associados à ocorrência de acidentes viários no entorno de pontos de parada em corredores de ônibus. 2017.

MAHIKUL, Wiriya *et al.* Factors affecting bus accident severity in Thailand: A multinomial logit model. **PLOS ONE**, v. 17, n. 11, p. e0277318, 9 nov. 2022.

MAJDOUB, Bassam Abdo. **Análises espaço-temporais de viagens por transporte público a partir de matriz Origem-Destino gerada por meio de bilhetagem eletrônica**. Dissertação de Mestrado—[S.l.]: Universidade de São Paulo, 22 abr. 2024.

MARCONATO, Renata; LAROCCA, Ana Paula C.; QUINTANILHA, José Alberto. Análise do uso de tecnologias em estabelecimentos agropecuários por meio dos índices de Moran global e local. **Revista de Política Agrícola**, v. 21, n. 1, p. 5–21, 11 maio 2012.

MARIANO, Ari Melo; DIAZ, Luis Felipe Alves. A importância da aceitação e uso da tecnologia em aplicativos de mobilidade urbana: contribuições da literatura científica. 2017.

MATOS, Bárbara Abreu. **Mobilidade pedonal e o efeito barreira das rodovias urbanas: as contradições e os conflitos no Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo, em Belo Horizonte (MG)**. Tese de Doutorado—[S.l.]: Universidade Federal de Minas Gerais, 2022.

MELLO, José André Villas Boas; BECKER, Shaindel Mothci; MENEZES, André da Silva. Serviço público de transporte por ônibus na cidade de Nova Iguaçu, Rio de Janeiro. **Profanações**, v. 7, n. Ed. esp., p. 151–172, 2 mar. 2020.

MELO, Willian Augusto de; MENDONÇA, Renata Rodrigues. Caracterização e distribuição espacial dos acidentes de trânsito não fatais. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 29, p. 1–12, 9 abr. 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Dados Consolidados de Óbitos no Trânsito Brasileiro - 2022**. [S.l.]: Observatório Nacional de Segurança Viária, 2022. Disponível em: <<https://www.onsv.org.br/pdi/analise-datasus-2022>>. Acesso em: 9 fev. 2025.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Com versão digital, mais estados mantêm Renaest atualizado**. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/noticias/2025/02/com-versao-digital-mais-estados-mantem-renaest-atualizado>>. Acesso em: 18 abr. 2025a.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Registro Nacional de Sinistros e Estatísticas de Trânsito**. [S.l.: S.n.].

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Sistema Seguro e Visão Zero**. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/pnatrans/sistema-seguro-e-visao-zero>>. Acesso em: 13 abr. 2025c.

MIRANDA, Giovanni Candido; LOBO, Carlos; LESSA, Daniela Antunes. A MOBILIDADE URBANA E O TRANSPORTE COLETIVO POR ÔNIBUS EM BELO HORIZONTE:

CENÁRIOS E PROJEÇÕES PARA 2022 E 2032. **XXXI Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes**, 2017.

MIRANDA-MORENO, Luis F.; MORENCY, Patrick; EL-GENEIDY, Ahmed M. The link between built environment, pedestrian activity and pedestrian–vehicle collision occurrence at signalized intersections. **Accident Analysis & Prevention**, v. 43, n. 5, p. 1624–1634, 1 set. 2011.

MOSQUERA, Maritza Sarela Palacios. **DETECCIÓN DE OUTLIERS ESPACIALES UTILIZANDO EL DIAGRAMA DE DISPERSIÓN DE MORÁN Y EL VARIOGRAMA NUBE**. Peru: UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, 2018.

NAGESWARAN, Shivaprasad *et al.* Unlatching school bus seat belt buckles: Considerations for young passengers. **Applied Ergonomics**, v. 118, p. 104283, 1 jul. 2024.

NAIZER, Cláudia Cristina Baptista Ramos. **Procedimento metodológico para proposta de indicadores de associação espacial global e local através de conceitos variográficos**. Dissertação de Mestrado—[S.l.]: Universidade de São Paulo, 2018.

NASCIMENTO, Carlos Alberto; LIMA, Josiane Palma. O PAPEL DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO COMO FERRAMENTA PARA BUSCAR MELHORIAS NA GESTÃO DOS SERVIÇOS PRESTADOS AO USUÁRIO DO TRANSPORTE COLETIVO. **Revista Ciências Exatas**, 1. v. 23, 2017.

NASSAR, Victor; VIEIRA, Milton Luiz Horn. O compartilhamento de informações no transporte público com as tecnologias RFID e NFC: uma proposta de aplicação. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, p. 327–340, 9 mar. 2017.

NETO, José Lins de Almeida. ATENDIMENTO AO TRAUMA EM ACIDENTES DE TRÂNSITO: UMA REVISÃO DA LITERATURA SOBRE OS SERVIÇOS DE EMERGÊNCIA PRÉ-HOSPITALAR. 2024.

NGUYEN, T. C. *et al.* Bus crash severity in Hanoi, Vietnam. **Safety**, v. 7, n. 3, 2021.

NTU, Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. **Pesquisas Temáticas NTU: SUBSÍDIOS PARA O TRANSPORTE COLETIVO URBANO POR ÔNIBUS**. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<https://ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub638603637807379901.pdf>>.

NTU, Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. Anuário NTU: 2023-2024. p. 72, 2024.

OBELHEIRO, Marta Rodrigues *et al.* A new zone system to analyze the spatial relationships between the built environment and traffic safety. **Journal of Transport Geography**, v. 84, p. 102699, 2020.

OLIVEIRA, Leise Kelli de *et al.* Análise do impacto da pandemia da COVID-19 no sistema de transporte coletivo por ônibus. **Revista Transporte y Territorio**, n. 27, 2022a.

OLIVEIRA, Leise Kelli de *et al.* Determining the Impacts of COVID-19 on Urban Deliveries in the Metropolitan Region of Belo Horizonte Using Spatial Analysis. **Transportation Research Record**, v. 2677, n. 4, p. 408–431, 1 abr. 2023.

OLIVEIRA, Wagner Luiz de; MORAES, Marcela Barbosa de; SILVA, José Luis Gomes da. Estudo da utilização de Sistemas Inteligentes de Transporte Público na cidade de São José Dos Campos, São Paulo. **Revista Transporte y Territorio**, n. 27, 2022.

OLIVEIRA, Maria *et al.* CARACTERIZAÇÃO DOS ACIDENTES DE TRANSITO COM ÔNIBUS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE: UM OLHAR DA SAÚDE COLETIVA / CHARACTERIZATION OF TRAFFIC ACCIDENTS WITH BUSES IN THE METROPOLITAN REGION OF BELO HORIZONTE. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, p. 64–79, 2022b.

OLIVEIRA-FRIESTINO, Jane Kelly *et al.* Distribuição espacial da mortalidade por acidentes de trânsito terrestre antes e após a Lei Seca em Santa Catarina, Brasil. **Revista Enfermagem Contemporânea**, v. 12, p. e5026–e5026, 26 maio 2023.

ONU. **Resolution adopted by the General Assembly on 2 March 2010.** [S.l.: S.n.].

ONU. **Resolution adopted by the General Assembly on 31 August 2020.** [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<https://undocs.org/en/A/RES/74/299>>.

ONU, Organização Mundial da Saúde. **PLANO GLOBAL-DÉCADA DE AÇÃO PELA SEGURANÇA NO TRÂNSITO 2021-2030.** [S.l.: S.n.]. Disponível em: <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/health-topics/road-traffic-injuries/global-plan-for-the-decade-of-road-safety-2021-2030-pt.pdf?sfvrsn=65cf34c8_35&download=true>.

OPAS, Organização Pan-Americana de Saúde. **Segurança no trânsito - OPAS/OMS | Organização Pan-Americana da Saúde.** Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/topicos/seguranca-no-transito>>. Acesso em: 13 abr. 2025.

ÖZCAN, Mehmet; KÜÇÜKÖNDER, Muhterem. Investigation of Spatiotemporal Changes in the Incidence of Traffic Accidents in Kahramanmaraş, Turkey, Using GIS-Based Density Analysis. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 48, n. 7, p. 1045–1056, 1 jul. 2020.

PAIXÃO, Lúcia Maria Miana Mattos *et al.* Óbitos no trânsito urbano: qualificação da informação e caracterização de grupos vulneráveis. 2015a.

PAIXÃO, Lúcia Maria Miana Mattos *et al.* Acidentes de trânsito em Belo Horizonte: o que revelam três diferentes fontes de informações, 2008 a 2010. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 18, p. 108–122, mar. 2015b.

PASQUAL, Francisco Minella. ANÁLISE DO PERFIL DE USO DE TRANSPORTE SOB DEMANDA POR APLICATIVO (RIDE-SOURCING) NA CIDADE DE SÃO PAULO. 2019.

PEDRO, Fabio Giardini. **Acidentes com transporte rodoviário de produtos perigosos: análise e aplicação de modelo conceitual georreferenciado para avaliação de risco ambiental no município de Campinas-SP.** Mestre em Engenharia Civil—Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 30 ago. 2006.

PEIXOTO, Creso de Franco. **A correlação entre segurança veicular e geometria rodoviária com base na aceleração centrípeta.** São Paulo: Universidade Estadual de Campinas

(UNICAMP), 2024. Disponível em: <<https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1408748>>. Acesso em: 13 abr. 2025.

PEREIRA, Mariana Buitrago; CORDEIRO, Caio Henriques de Oliveira Lobo; JÚNIOR, José Elievam Bessa. Identificação e análise de pontos e trechos críticos de acidentes de trânsito na cidade de Belo Horizonte com o auxílio de mapas temáticos. 2019.

PEREIRA, Rafael H. M. *et al.* **Tendências e desigualdades da mobilidade urbana no Brasil I: O uso do transporte coletivo e individual.** [S.l.]: Texto para Discussão, 2021. Disponível em: <<https://www.econstor.eu/handle/10419/243027>>. Acesso em: 9 set. 2024.

PEREIRA, Rafael H. M.; HERSZENHUT, Daniel. **Introdução à acessibilidade urbana: um guia prático em R.** [S.l.]: Ipea - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2023.

PINTO, Jacyguara Costa; COSTA, Geoval da Silva. A Importância da Educação para o Trânsito nas Escolas. **Rebena - Revista Brasileira de Ensino e Aprendizagem**, v. 3, p. 59–69, 25 jan. 2022.

PNATRANS. **Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito 2021 - 2030.** [S.l.: S.n.].

PNATRANS. **Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito 2021.** Brasil: Ministério da Infraestrutura, 2021a.

PNATRANS. **O plano nacional de redução de mortes e lesões no trânsito o papel dos municípios.** Observatório Nacional de Segurança Viária: Universidade Federal do Pará, 2021b.

POMPERMAYER, Fabiano Mezadre. NOVO MARCO DO TRANSPORTE PÚBLICO COLETIVO URBANO: MELHORIAS PARA AUMENTAR SUA EFETIVIDADE. **Radar: tecnologia, produção e comércio exterior**, n. 72, p. 11–15, 4 maio 2023.

PORCU, Fabio *et al.* Evaluating bus accident risks in public transport. **Transportation Research Procedia**, Transport Infrastructure and systems in a changing world. Towards a more sustainable, reliable and smarter mobility. TIS Roma 2019 Conference Proceedings. v. 45, p. 443–450, 1 jan. 2020.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **DADOS ABERTOS.** Disponível em: <<https://dados.pbh.gov.br/>>. Acesso em: 5 out. 2024.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **BH Map.** Disponível em: <<https://bhmap.pbh.gov.br/v2/mapa/idebhgeo#zoom=4&lat=7796893.0925&lon=609250.9075&baselayer=base>>. Acesso em: 5 out. 2024a.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Parques Municipais.** Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/fundacao-de-parques-e-zoobotanica/conheca-os-parques>>. Acesso em: 4 nov. 2025b.

QGIS. **Mapa de calor (Estimativa de densidade Kernel).**

QU, Xinyu *et al.* Exploring the Influences of Point-of-Interest on Traffic Crashes during Weekdays and Weekends via Multi-Scale Geographically Weighted Regression. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 11, p. 791, nov. 2021.

RÁDIO ITATIAIA. **Acidente com ônibus que caiu no Rio Arrudas, em BH, e matou nove pessoas completa 25 anos; relembre.** Disponível em: <<https://www.itatiaia.com.br/cidades/2024/07/16/acidente-com-onibus-que-caiu-no-rio-arrudas-em-bh-e-matou-nove-pessoas-completa-25-anos-relembre>>. Acesso em: 15 mar. 2025.

RAHMAN, Muhammad Tauhidur; JAMAL, Arshad; AL-AHMADI, Hassan M. Examining Hotspots of Traffic Collisions and their Spatial Relationships with Land Use: A GIS-Based Geographically Weighted Regression Approach for Dammam, Saudi Arabia. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 9, p. 540, set. 2020.

RAHNAMA, Shaghayegh; CORTEZ, Adriana; MONZON, Andres. Investigating key explanatory factors for safer long-distance bus services. **European Transport Research Review**, v. 16, n. 1, p. 51, 14 set. 2024.

RENAEST. **Registro Nacional de Sinistros e Estatísticas de Trânsito.** Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/docs/renaest>>. Acesso em: 18 abr. 2025.

RODRIGUES, Gabriel Santos; BUENO, Regis Cortez; MACHADO, Sivanilza Teixeira. Comparação dos aplicativos de transporte público de passageiros: uma ferramenta para tomada de decisão dos usuários. **REFAS: Revista FATEC Zona Sul**, v. 6, n. 4, p. 6, 2020.

ROSA, Cristian Nascimento. ESTUDO SOBRE DERRAMAMENTOS DE ÓLEOS NAS VIAS PÚBLICAS E SEUS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 6, p. 988–998, 30 jun. 2022.

SABOYA, Renato T. de; KRETZER, Geruza. **Autocorrelação espacial: uma introdução ao índice de Moran e ao LISA.** Departamento de Arquitetura e Urbanismo Pós-Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo: Universidade Federal de Santa Catarina, 2024.

SALES, José Roberto *et al.* A IMPORTÂNCIA DA MOBILIDADE URBANA DE FORMA SUSTENTÁVEL. **Revista Científica Unilago**, v. 1, n. 1, 2020.

SANTOS, Angela Moulin S. Penalva. POLÍTICA URBANA NO BRASIL: A DIFÍCIL REGULAÇÃO DE UMA URBANIZAÇÃO PERIFÉRICA. **Geo UERJ**, n. 36, p. e47269–e47269, 14 fev. 2020.

SANTOS, Antonio Nacilio Sousa dos. Transporte coletivo, pandemia e segregação: reflexões em torno da relação entre transporte coletivo de ônibus e usuários no período pandêmico em Belém, Estado do Pará. **Revista do Instituto de Políticas Públicas de Marília**, v. 10, p. e024002–e024002, 30 abr. 2024.

SANTOS, Pedro Augusto Borges dos *et al.* Estabelecimento de metas de redução de mortes no trânsito nos municípios brasileiros. **TRANSPORTES**, v. 30, n. 3, p. 2704–2704, 24 out. 2022.

SANTOS, Pedro Augusto Borges Dos; OVIEDO-TRESPALACIOS, Oscar; BASTOS, Jorge Tiago. AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL DO EXCESSO DE VELOCIDADE EM CURITIBA-PR. In: 3º SIMPÓSIO DE TRANSPORTES DO PARANÁ. 4º SEMINÁRIO EM AEROPORTOS E TRANSPORTE AÉREO. 4º URBANIDADE. **Anais... Revista Técnico Científica do CREA PR: 2023.** Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/93269>>. Acesso em: 1 jun. 2025

SATRIA, Romi; CASTRO, María. GIS Tools for Analyzing Accidents and Road Design: A Review. **Transportation Research Procedia**, Efficient, Safe and Intelligent Transport. Selected papers from the XII Conference on Transport Engineering, Valencia (Spain) 7-9 June. v. 18, p. 242–247, 1 jan. 2016.

SCALDELAI, Dirceu; MATIOLI, Luiz Carlos; SANTOS, Solange Regina dos. AdditiveClusterKDE: Um algoritmo para clusterização baseado no estimador de densidade kernel multivariado. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, v. 8, n. 1, 20 dez. 2021.

SECRETARIA DE ESTADO DE SAÚDE - SES. **Portal de Dados Abertos do Estado de Minas Gerais**. [S.l.: S.n.].

SHA, Yongzhong *et al.* Systematic Analysis of the Contributory Factors Related to Major Coach and Bus Accidents in China. **Sustainability**, v. 14, n. 22, p. 15354, jan. 2022.

SHEN, Jinxing *et al.* Investigation of factors contributing to bus-crash severity based on extended hierarchical ordered probit model with heteroscedasticity. **Journal of Transportation Safety & Security**, v. 14, n. 9, p. 1531–1551, 2 set. 2022.

SILVA, Benício Silvio da. **A UTILIZAÇÃO DE SUBSÍDIOS E RECEITAS EXTRATARIFÁRIAS AO TRANSPORTE COLETIVO NO BRASIL E SUA RELAÇÃO COM A MOBILIDADE URBANA**. Dissertação de Mestrado—Florianópolis: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2022.

SILVA, Carlos Fabrício Assunção da *et al.* ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS USUÁRIOS DE SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO E OS CASOS DE COVID-19: UM ESTUDO DE CASO PARA RECIFE (PE). **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 16, n. 4, 2020a.

SILVA, João Miguel Monteiro da. **Projeto Mobizela: uma proposta de mobilidade sustentável para Vizela Cittaslow**. Dissertação de Mestrado—Braga, Portugal: Universidade do Minho Instituto de Ciências Sociais, 2017.

SILVA, Júlia Clételei Magalhães da. **Evolução do perfil espacial de mortalidade de acidentes de trânsito no Brasil e microrregiões, 1996-2015**. Dissertação de Mestrado—[S.l.]: Universidade Federal de Minas Gerais, 2020.

SILVA, Otavio Henrique da *et al.* DIAGNÓSTICO DA VULNERABILIDADE DE ACIDENTES DE TRÂNSITO NA CIDADE DE PORTO ALEGRE, RIO GRANDE DO SUL. n. 24, 2020b.

SILVA, Katielle *et al.* **Geografia Urbana: revisitando conceitos e temas**. 1. ed. [S.l.]: Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, 2023.

SOUZA, Eliane Augusta Gonçalves; SOUZA, Natália Sanches; PAULA, Diana Carolina Jesus de. Mobilidade Urbana em Cuiabá-MT: reflexão a partir da distribuição dos pontos de ônibus. **Revista Latino-americana de Ambiente Construído & Sustentabilidade**, v. 5, n. 3, 28 ago. 2024.

SUMOB, Superintendência de Mobilidade. **Relatório de Sinistros de trânsito com vítimas em Belo Horizonte**. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 2024. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/bhtrans/2024/relatorio-anual-de-sinistros-de-transito-com-vitima-2023-v2.1.pdf>>.

SURAJI, Aji; DJAKFAR, Ludfi; WICAKSONO, Achmad. Analysis of bus performance on the risk of traffic accidents in East Java-Indonesia. **EUREKA: Physics and Engineering**, n. 3, p. 111–118, 27 maio 2021.

TAMAKLOE, Reuben *et al.* Investigating factors affecting bus/minibus accident severity in a developing country for different subgroup datasets characterised by time, pavement, and light conditions. **Accident Analysis & Prevention**, v. 159, p. 106268, 1 set. 2021.

TAMAKLOE, Reuben; HONG, Jungyeol; PARK, Dongjoo. A copula-based approach for jointly modeling crash severity and number of vehicles involved in express bus crashes on expressways considering temporal stability of data. **Accident Analysis & Prevention**, v. 146, p. 105736, 2020.

TANDRAYEN-RAGOOBUR, V. The economic burden of road traffic accidents and injuries: A small island perspective. **International Journal of Transportation Science and Technology**, 2024.

TANURE, Viviane Rodrigues Mendes. **O DESENVOLVIMENTO DE INDICADOR PARA AVALIAR A QUALIDADE DO SERVIÇO DE TRANSPORTE PÚBLICO COLETIVO URBANO POR ÔNIBUS**. Dissertação de Mestrado—Montes Claros – MG: Universidade Estadual de Montes Claros, 2023.

TARDIN, Matheus Grage *et al.* Efeitos das dimensões da qualidade do serviço na satisfação do usuário do transporte público. **TRANSPORTES**, v. 28, n. 3, p. 180–195, 31 ago. 2020.

TOBLER, W. R. **A computer movie simulating urban growth in the Detroit region**. [S.l.]: Economic Geography, 1970.

VALDEZ, Hugo Antonio Lemes. **Análise espacial dos acidentes de trânsito em um município de fronteira internacional**. Dissertação de Mestrado—FOZ DO IGUAÇU: UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ, 2021.

VAREJÃO, Mônica Coelho; SERRA, Eduardo Gonçalves. Proposta de seleção de um sistema de indicadores para avaliação dos impactos ambientais da mobilidade urbana / A proposal for the selection of a system of indicators for the evaluation of the environmental impacts of urban mobility. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 95126–95145, 7 dez. 2020.

WANG, Yiyi; KOCKELMAN, Kara M. A Poisson-lognormal conditional-autoregressive model for multivariate spatial analysis of pedestrian crash counts across neighborhoods. **Accident Analysis & Prevention**, v. 60, p. 71–84, 1 nov. 2013.

WELLE, Ben *et al.* **Sustentável e Seguro: Visão e Diretrizes para Zerar as Mortes no Trânsito**. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/publicacoes/sustentavel-e-seguro-visao-e-diretrizes-para-zerar-mortes-no-transito>>. Acesso em: 4 mar. 2025.

XIE, Bo *et al.* Incorporating transportation safety into land use planning: Pre-assessment of land use conversion effects on severe crashes in urban China. **Applied Geography**, v. 103, p. 1–11, 1 fev. 2019.

ANEXO A - DESCRIÇÃO DOS DADOS DE OCORRÊNCIAS DE SINISTROS DA PREFEITURA DE BELO HORIZONTE (2024)

Si_Bol- Acidentes de transito com vítima dados gerais do boletim de acidente de acidente de um determinado ano (aaaa)	
numero_boletim	Número do Boletim de Ocorrência. Exemplo: 206099 ou 2016-000009920-001. Durante 2016 houve uma mudança na lógica de numeração dos boletins em virtude da alteração da forma de recebimento dos dados dos boletins.
datahora_boletim	Data e hora do acidente registrada no Boletim de ocorrência. Exemplo: 24/4/1999 18:10:00
data_inclusao	Data do registro do boletim de ocorrência.
tipo_acidente	código do tipo de acidente. Exemplo: H01001 - abalroamento sem vítima, H01002 - abalroamento com vítima.
desc_tipo_acidente	Descrição do tipo de acidente.
cod_tempo	Código da condição climática no momento do acidente. Exemplo: 0 - Não informado, 1 - bom, 2 - chuva, 3 - neblina, 4 - nublado.
desc_tempo	Calculado a partir de COD_TEMPO
cod_pavimento	código do pavimento do logradouro. Exemplo: 0 - nao informado, 1 - asfalto, 2 - concreto, 3 - terra, 4 - calcamento.
pavimento	Calculado a partir de COD_PAVIMENTO
cod_regional	Número da administração regional. Ex.: 18 (Barreiro), 19 (Centro-Sul).
desc_regional	Calculado a partir de COD_REGIONAL
origem_boletim	Nome do Batalhão da PM onde foi registrado o Boletim de Ocorrência.
local_sinalizado	Indica se o local do acidente e sinalizado.
velocidade_permitida	Velocidade máxima permitida para o local do acidente. Exemplo: 40, 60 Km.
coordenada_x	Coordenada x do endereço referenciado no Boletim de Ocorrência (UTM - Sirgas 2000 fuso 23S).
coordenada_y	Coordenada y do endereço referenciado no Boletim de Ocorrência (UTM - Sirgas 2000 fuso 23S).
hora_informada	Indicador de hora informada.
indicador_fatalidade	Indicada se no acidente houve vítima fatal.
valor_ups	Valor de unidade padrão de severidade. Valores possíveis: 1 - sem vítima, 5 - com vítima (não fatal) - 13 - com vítima fatal.
descricao_ups	Calculado a partir de "VALOR_UPS" Valor de unidade padrão de severidade. Valores possíveis: 1 - sem vítima, 5 - com vítima (não fatal) - 13 - com vítima fatal.
data_alteracao_smsa	Data de alteração similar
valor_ups_antiga	Valor de unidade padrão de severidade antigo. Valores possíveis: 1 - sem vítima, 5 - com vítima (não fatal) - 13 - com vítima fatal.
descricao_ups_antiga	Calculado a partir de "VALOR_UPS" Valor de unidade padrão de severidade. Valores possíveis: 1 - sem vítima, 5 - com vítima (não fatal) - 13 - com vítima fatal.

Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2024). Adaptado.

Si_Env- Acidentes de transito com vitima dados gerais dos envolvidos no acidente de um determinado ano (aaaa)	
Nº_boletim	Número do Boletim de Ocorrência. Exemplo: 206099 ou 2016-000009920-001. Durante 2016 houve uma mudança na lógica de numeração dos boletins em virtude da alteração da forma de recebimento dos dados dos boletins.
data_hora_boletim	Data e hora do acidente registrada no Boletim de ocorrência. Exemplo: 24/4/1999 18:10:00
Nº_envolvido	Número do envolvido no acidente. Exemplo: 1 - Paulo Sergio da Silva, 2 - Lorival Oliveira Franco.
condutor	Indica se o envolvido no acidente e condutor ou não. Valores possíveis: 'S'- sim, 'N' - Não e 0 - Não informado.
cod_severidade	Código da severidade. Exemplo: 0 - nao informado, 1 - nao fatal, 2 - fatal, 3 - sem ferimentos.
desc_severidade	Descrição da severidade
sexo	Sexo do envolvido. Valores possíveis: M-Masculino, F-Feminino e 0-Não informado.
cinto_seguranca	Indica se o envolvido no acidente estava usando o cinto de segurança.
Embreagues	Indica se o envolvido no acidente estava embriagado.
Idade	idade do envolvido. Exemplo: 26.
nascimento	Data de nascimento do envolvido. Exemplo: 14/11/1974.
categoria_habilitacao	Código da categoria de habilitação. Exemplo: IN - Inabilitado, N - Não informado, B - veículos motor, com até 8 passageiros, peso máximo 3500 kg, C - veic. motor p/ transp. de carga, c/ peso max. aut. 3500 kg.
descricao_habilitacao	Calculado a partir do valor de "categoria habilitação"
declaracao_obito	Número da declaração de óbito
cod_severidade_antiga	Código da severidade antiga. Exemplo: 0 - não informado, 1 - não fatal, 2 - fatal, 3 - sem ferimentos.
especie_veiculo	Descrição do código da espécie do veículo. Exemplos: 1 - bicicleta, 2 - ciclomotor, 3 - motoneta, 4 - motocicleta, 5 - triciclo, 6 - automóvel.
pedestre	Indicativo de Pedestre (para os acidentes a partir de 2015). Exemplo: 0 - não informado, S - Sim, N - Não.
passageiro	Indicativo de Passageiro (para os acidentes a partir de 2015). Exemplo: 0 - não informado, S - Sim, N - Não.

Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2024). Adaptado.

Si_Log- Acidentes de transito com vitima dados gerais dos veículos envolvidos em acidente de um determinado ano (aaaa)	
Nº_boletim	Número do Boletim de Ocorrência. Exemplo: 206099 ou 2016-000009920-001. Durante 2016 houve uma mudança na lógica de numeração dos boletins em virtude da alteração da forma de recebimento dos dados dos boletins.
data_boletim	Data e hora do acidente registrada no Boletim de ocorrência. Exemplo: 24/4/1999 18:10:00
Nº_municipio	Número do município em que o endereço se localiza.
nome_municipio	Nome do município em que o endereço se localiza.
seq_logradouros	Sequência do logradouro, quando for referenciando cruzamentos e entroncamentos ou entre ruas
Nº_logradouro	Número do logradouro que compõe o endereço.
tipo_logradouro	Código do tipo do logradouro. Exemplo: ROD (Rodovia), AVE (Avenida).
nome_logradouro	Descrição do nome do logradouro. Exemplo: 6333 (Olimpio Garcia).
tipo_logradouro_anterior	Tipo do logradouro atribuído ao logradouro em momento anterior ao atual.
nome_logradouro_anterior	Nome do logradouro atribuído ao logradouro em momento anterior ao atual.
Nº_bairro	Código do bairro
nome_bairro	Nome do bairro
tipo_bairro	Tipo do bairro
descricao_tipo_bairro	Calculado a partir do valor de "tipo_bairro" tam 6
Nº_imovel	Número do imóvel
Nº_imovel_proximo	Número do imóvel mais próximo, quando houver

Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2024). Adaptado.

Si_Veic- Acidentes de transito com vítima dados gerais dos veículos envolvidos em acidente de um determinado ano (aaaa)

Nº_boletim	Número do Boletim de Ocorrência. Exemplo: 206099 ou 2016-000009920-001. Durante 2016 houve uma mudança na lógica de numeração dos boletins em virtude da alteração da forma de recebimento dos dados dos boletins.
data_hora_boletim	Data e hora do acidente registrada no Boletim de ocorrência. Exemplo: 24/4/1999 18:10:00
seq_veic	Número sequencial de veículo relacionado a um Boletim de Ocorrência. Identifica a quantidade de veículos envolvidos em um acidente.
cod_categ	Código da categoria do veículo. Exemplos: 0 - não informado, 1 - oficial, 2 - missão diplomática, 3 - particular, 4 - aluguel, 5 - aprendizagem.
descricao_categoria	Descrição do código da categoria do veículo. Exemplos: 0 - não informado, 1 - oficial, 2 - missão diplomática, 3 - particular, 4 - aluguel, 5 - aprendizagem.
cod_especie	Código da espécie do veículo. Exemplos: 1 - bicicleta, 2 - ciclomotor, 3 - motoneta, 4 - motocicleta, 5 - triciclo, 6 - automóvel.
descricao_especie	Calculado a partir do valor de "cod_especie" tam 12
cod_situacao	Código da situação do veículo. Exemplos: 0 - não informado, 1 - em movimento, 2 - parado.
desc_situacao	Calculado a partir do valor de "cod_situacao" tam 14
tipo_socorro	Código do tipo do socorro prestado para o acidente. Exemplo: 0 - não informado, 1 - veículo envolvido, 2 - viatura PMMG, 3 - ambulância, 4 - terceiros.
desc_tipo_socorro	Calculado a partir do valor de "tipo_socorro" tam 18

Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2024). Adaptado.

ANEXO B - DETALHAMENTO DE CÓDIGO E DESCRIÇÃO DOS NOMES POPULARES DOS BAIRROS DE BELO HORIZONTE

Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro
600	Aarão Reis	743	Paquetá	1172	Jardim Alvorada	1401	Vila Aeroporto
602	Alípio de Melo	744	Paraíso	1173	Pousada Santo Antônio	1402	Vila Aeroporto Jaraguá
603	Alto Caiçaras	746	Pedreira Prado Lopes	1176	Granja Werneck	1404	Vila Jardim Alvorada
604	Alto dos Pinheiros	748	Pindorama	1202	Vista do Sol	1405	Vila Antena
605	Álvaro Camargos	749	Pirajá	1238	Ouro Minas	1406	Vila Antena Montanhês
607	Anchieta	750	Planalto	1239	Belmonte	1407	Vila Átila de Paiva
608	Aparecida	751	Pompéia	1240	Nazaré	1408	Vila Bandeirantes
609	Graça	752	Prado	1241	Beija Flor	1409	Vila Barragem Santa Lúcia
612	Baleia	754	Primeiro de Maio	1245	Granja de Freitas	1410	Vila Boa Vista
615	Frei Leopoldo	756	Providência	1246	Alto Vera Cruz	1412	Vila Califórnia
616	Barroca	758	Renascença	1247	Tupi B	1413	Vila Copacabana
617	Barro Preto	759	Ribeiro de Abreu	1251	Vila Ecológica	1414	Vila COPASA
618	Belvedere	760	Sagrada Família	1252	Vitória da Conquista	1415	Vila Coqueiral
619	Betânia	761	Salgado Filho	1253	Silveira	1417	Vila da Paz
620	Boa Vista	762	Santa Amélia	1254	Vila Formosa	1419	Vila de Sá
621	Bom Jesus	763	Santa Cruz	1257	Corumbiara	1420	Vila do Pombal
622	Bonfim	765	Santa Efigênia	1258	Jonas Veiga	1421	Vila dos Anjos
623	Buritis	766	Santa Helena	1261	Indaiá	1422	Vila Engenho Nogueira
624	Cabana do Pai Tomás	767	Santa Inês	1267	Acaiaca	1423	Vila FUMEC
625	Cachoeirinha	768	Santa Lúcia	1270	Águas Claras	1424	Vila Havaí
626	Caetano Furquim	769	Conjunto Santa Maria	1271	Alpes	1425	Vila Independência I
627	Caiçara-Adelaide	770	Santa Maria	1272	Alta Tensão I	1426	Vila Independência II
628	Caiçaras	771	Maria Goretti	1276	Apolônia	1427	Vila Independência IV

Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro
629	Calafate	772	Santa Mônica	1278	Bacurau	1428	Vila Inestan
630	Califórnia	773	Santa Rosa	1279	Bairro das Indústrias II	1429	Vila Ipiranga
631	Camargos	774	Santa Tereza	1280	Barão Homem de Melo IV	1430	Vila Jardim Leblon
632	Campo Alegre	775	Santa Terezinha	1281	Barão Homem de Melo III	1431	Vila Jardim Montanhês
633	Campus UFMG	776	Santo Agostinho	1282	Barão Homem de Melo I	1433	Vila Maloca
634	Canaã	777	Santo André	1285	Vila Batik	1435	Vila Mantiqueira
635	Cardoso	778	Santo Antônio	1286	Beira-Linha	1436	Vila Maria
636	Carlos Prates	779	São Bento	1287	Bela Vitória	1437	Vila Minaslândia
637	Carmo	780	São Bento	1289	Bernadete	1438	Vila Nossa Senhora do Rosário
638	Casa Branca	781	São Cristóvão	1290	Biquinhas	1439	Vila Nova
639	Castelo	782	São Francisco	1291	Bispo de Maura	1440	Vila Nova Cachoeirinha I
640	São José	783	São Gabriel	1292	Boa União II	1441	Vila Nova Cachoeirinha II
641	São Luíz	784	São Geraldo	1293	Boa União I	1443	Vila Nova Cachoeirinha IV
642	Centro	785	São João Batista	1294	Vila Dias	1444	Vila Nova dos Milionários
643	Céu Azul	786	Vila São João Batista	1298	Canadá	1445	Vila Nova Gameleira I
644	Cidade Jardim	787	Jardim São José	1299	Candelária	1446	Vila Nova Gameleira II
645	Cidade Nova	788	São Lucas	1303	Cenáculo	1447	Vila Nova Gameleira III
646	Colégio Batista	789	São Marcos	1304	Chcara Leonina	1448	Vila Nova Paraíso
647	Concórdia	790	Piratininga	1306	Comiteco	1449	Vila Novo São Lucas
649	Conjunto Califórnia II	791	São Paulo	1307	Cônego Pinheiro	1451	Vila Paquetá
650	Conjunto Celso Machado	792	São Pedro	1308	Cônego Pinheiro A	1452	Vila Paraíso
652	Braúnas	793	São Salvador	1309	Conjunto Floramar	1453	Vila Petrópolis
653	Jardim Atlântico	794	São Tomáz	1310	Conjunto Jardim Filadélfia	1455	Vila Piratininga
654	Coqueiros	796	Saudade	1311	Conjunto Lagoa	1456	Vila Primeiro de Maio
655	Coração de Jesus	797	Serra	1312	Conjunto Minascaixa	1457	Vila PUC

Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro
656	Coração Eucarístico	798	Serrano	1313	Conjunto Paulo VI	1458	Vila Real I
657	Cruzeiro	799	Serra Verde	1314	Conjunto Providência	1459	Vila Real II
658	Dom Bosco	800	Vila SESC	1315	Conjunto São Francisco de Assis	1460	Vila Rica
659	Dom Cabral	801	Sion	1316	Conjunto Serra Verde	1462	Vila Santa Rosa
660	Dom Joaquim	802	Solimões	1317	Conjunto Taquaril	1463	Vila Santo Antônio
661	Dom Silvério	803	Taquaril	1318	Custodinha	1464	Vila Santo Antônio Barroquinha
662	Dona Clara	804	Teixeira Dias	1319	Delta	1465	Vila São Francisco
664	Engenho Nogueira	805	Tirol	1320	Vila Madre Gertrudes II	1467	Vila São Geraldo
665	Ermelinda	806	Tupi A	1321	Esperança	1468	Vila São Paulo
666	Esplanada	807	Garças	1322	Vila Esplanada	1470	Vila São Rafael
667	Estoril	808	União	1323	Estrela	1471	Vila Satélite
669	Etelvina Carneiro	809	Universitário	1324	Estrela do Oriente	1473	Vila Sumaré
670	Europa	810	Venda Nova	1325	Fazendinha	1474	Vila Suzana I
671	Eymard	811	Vera Cruz	1326	Flamengo	1475	Vila Suzana II
673	Vila CEMIG	812	Goiânia	1327	Grota	1476	Vila Tirol
674	Sumaré	813	Vila Clóris	1328	Grotinha	1477	Vila Trinta e Um de MarÃ§o
675	Xodó-Marize	814	Vila Oeste	1329	Guanabara	1478	Vila União
677	Flávio Marques Lisboa	815	Vila Paris	1330	Guaratã	1479	São Sebastião
678	Floramar	816	Maria Virgínia	1331	Horto Florestal	1480	Vila Vista Alegre
679	Floresta	817	Virgínia	1332	Imbaúbas	1481	Vitória
681	Funcionários	818	Rio Branco	1333	Itatiaia	1482	Zilah Spósito
682	Gameleira	819	Vista Alegre	1334	Jardim do Vale	1483	Acaba Mundo
684	Glória	820	Xangri-lá	1336	João Alfredo	1484	Novo Glória
686	Grajaú	821	Aparecida Sétima Seção	1337	Lajedo	1485	CDI Jatobá

Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro
687	Guarani	822	Alto Barroca	1339	Leonina	1486	Vila São Dimas
688	Juliana	823	Pongelupe	1340	Lorena	1487	Cidade Jardim Taquaril
689	Gutierrez	824	Nova Cachoeirinha	1341	Madri	1490	Bairro das Indústrias I
690	Havaí	827	Trevo	1342	Mala e Cuia	1491	Barreiro
691	Heliópolis	828	Copacabana	1343	Manacês	1492	Conjunto Califórnia I
692	Horto	829	Santa Branca	1345	Vila Madre Gertrudes V	1493	Jardim Leblon
693	Inconfidência	830	Aeroporto	1346	Maravilha	1494	Serra do Curral
694	Independência	831	Jardim Vitória	1348	Marçola	1495	Conjunto Capitão Eduardo
695	Monte Azul	832	Vale do Jatobá	1349	Maria Teresa	1651	Belém
698	Ipiranga	833	Olaria	1350	Mariano de Abreu	1652	Vila Vera Cruz I
699	Itapoã	834	Jardim Felicidade	1351	Marieta I	1653	Vila Vera Cruz II
700	Jaqueline	835	Confisco	1353	Mariquinhas	1658	Andiroba
701	Jaraguá	905	Paulo VI	1354	Marmiteiros	1659	Boa Esperança
702	Jardim América	906	Capitão Eduardo	1356	Mirante	1660	Vila da Luz
703	Jardim dos Comerciários	907	Suzana	1357	Mirtes	1661	Vila Ouro Minas
704	Jardim Montanhês	926	Fernão Dias	1358	Vila Madre Gertrudes III	1662	Vila São Gabriel
705	Jardinópolis	967	Nova América	1359	Morro dos Macacos	1664	Vila Canto do Sabiá
706	Jatobá	1006	Monte São José	1360	Vila Nossa Senhora Aparecida	1665	Alta Tensão
707	João Pinheiro	1043	Ipê	1361	Nossa Senhora da Aparecida	1666	Alto das Antenas
708	Lagoa	1065	Jardim Guanabara	1362	Nossa Senhora da Conceição	1668	Ambrosina
709	Lagoinha Leblon	1133	Savassi	1363	Nossa Senhora de Fátima	1670	São Jorge I
710	Lagoinha	1138	Bairro Novo das Indústrias	1364	Nossa Senhora do Rosário	1671	São Jorge II
712	Leticia	1139	Conjunto Bonsucesso	1365	Conjunto Novo Dom Bosco	1672	São Jorge III
713	Liberdade	1140	Bonsucesso	1366	Novo Ouro Preto	1675	Vila da Amizade
714	Lindéia	1141	Araguaia	1367	Nova Santa Cecília	1676	Vila Calafate

Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro
715	Lourdes	1142	Parque São José	1368	Novo Tupi	1677	Vila Mangueiras
716	Luxemburgo	1143	Flávio de Oliveira	1369	Oeste	1972	Lagoa da Pampulha
717	Madre Gertrudes	1144	Santa Margarida	1370	Pantanal	1973	Marieta II
718	Mangabeiras	1145	Átila de Paiva	1371	Parque São Pedro	1974	Ventosa
719	Mantiqueira	1146	João Paulo II	1372	Penha	1975	Vila Santa Mônica
720	Marajó	1147	Ademar Maldonado	1373	São Francisco das Chagas	1976	Antônio Ribeiro de Abreu
721	Maria Helena	1148	Diamante	1374	Pindura Saia	2026	Vila Viveiro
722	Milionários	1149	Miramar	1375	Vila Piratininga Venda Nova	2027	Vila Alto dos Pinheiros
723	Minas Brasil	1150	Brasil Industrial	1376	Pirineus	2028	Vila São Tomáz
724	Minascaixa	1153	Vila Pinho	1378	Santa Isabel	2029	Vila Nova Cintra
725	Minaslândia	1154	Castanheira	1379	Santa Rita de Cássia	2030	Jardim Getsemani
726	Monsenhor Messias	1155	Túnel de Ibirité	1380	Santa Sofia	2031	Vila Verde
728	Nova Cintra	1156	Boa Viagem	1381	Santana do Cafezal	2032	Cristo Rei
729	Nova Esperança	1157	Itaipu	1382	São Benedito	2033	Novo Lajedo
730	Nova Floresta	1158	Marilândia	1383	São Damião	2034	Tiradentes
731	Nova Gameleira	1159	Santa Cecília	1384	São Gonçalo	2035	Montes Claros
712	Letícia	1139	Conjunto Bonsucesso	1365	Conjunto Novo Dom Bosco	1672	São Jorge III
713	Liberdade	1140	Bonsucesso	1366	Novo Ouro Preto	1675	Vila da Amizade
714	Lindéia	1141	Araguaia	1367	Nova Santa Cecília	1676	Vila Calafate
715	Lourdes	1142	Parque São José	1368	Novo Tupi	1677	Vila Mangueiras
716	Luxemburgo	1143	Flávio de Oliveira	1369	Oeste	1972	Lagoa da Pampulha
717	Madre Gertrudes	1144	Santa Margarida	1370	Pantanal	1973	Marieta II
718	Mangabeiras	1145	Átila de Paiva	1371	Parque São Pedro	1974	Ventosa
719	Mantiqueira	1146	João Paulo II	1372	Penha	1975	Vila Santa Mônica
720	Marajó	1147	Ademar Maldonado	1373	São Francisco das Chagas	1976	Antônio Ribeiro de Abreu

Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro
721	Maria Helena	1148	Diamante	1374	Pindura Saia	2026	Vila Viveiro
722	Milionários	1149	Miramar	1375	Vila Piratininga Venda Nova	2027	Vila Alto dos Pinheiros
723	Minas Brasil	1150	Brasil Industrial	1376	Pirineus	2028	Vila São Tomáz
724	Minascaixa	1153	Vila Pinho	1378	Santa Isabel	2029	Vila Nova Cintra
725	Minaslândia	1154	Castanheira	1379	Santa Rita de Cássia	2030	Jardim Getsemani
726	Monsenhor Messias	1155	Túnel de Ibirité	1380	Santa Sofia	2031	Vila Verde
728	Nova Cintra	1156	Boa Viagem	1381	Santana do Cafezal	2032	Cristo Rei
729	Nova Esperança	1157	Itaipu	1382	São Benedito	2033	Novo Lajedo
730	Nova Floresta	1158	Marilândia	1383	São Damião	2034	Tiradentes
731	Nova Gameleira	1159	Santa Cecília	1384	São Gonçalo	2035	Montes Claros
720	Marajó	1147	Ademar Maldonado	1373	São Francisco das Chagas	1976	Antônio Ribeiro de Abreu
721	Maria Helena	1148	Diamante	1374	Pindura Saia	2026	Vila Viveiro
722	Milionários	1149	Miramar	1375	Vila Piratininga Venda Nova	2027	Vila Alto dos Pinheiros
723	Minas Brasil	1150	Brasil Industrial	1376	Pirineus	2028	Vila São Tomáz
724	Minascaixa	1153	Vila Pinho	1378	Santa Isabel	2029	Vila Nova Cintra
725	Minaslândia	1154	Castanheira	1379	Santa Rita de Cássia	2030	Jardim Getsemani
726	Monsenhor Messias	1155	Túnel de Ibirité	1380	Santa Sofia	2031	Vila Verde
728	Nova Cintra	1156	Boa Viagem	1381	Santana do Cafezal	2032	Cristo Rei
729	Nova Esperança	1157	Itaipu	1382	São Benedito	2033	Novo Lajedo
730	Nova Floresta	1158	Marilândia	1383	São Damião	2034	Tiradentes
731	Nova Gameleira	1159	Santa Cecília	1384	São Gonçalo	2035	Montes Claros
732	Nova Granada	1160	Conjunto Jatobá	1385	São João	2036	Jardim Liberdade
733	Nova Pampulha	1161	Cinquentenário	1388	São Vicente	2037	Vila Horto Florestal
734	Nova Suíça	1162	Ernesto do Nascimento	1389	Satélite	2038	Vila Trevo
735	Nova Vista	1163	Santa Rita	1390	Senhor dos Passos	2039	São Judas Tadeu

Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro	Cod_bairro	Desc_bairro
736	Novo São Lucas	1164	Mangueiras	1391	Vila Madre Gertrudes I	2040	Eliana Silva
737	Olhos d'água	1165	Petrópolis	1392	Sport Club	2041	Irmã Dorothy
738	Ouro Preto	1166	Mineirão	1393	Vila Tiradentes	2042	Camilo Torres
739	Padre Eustáquio	1167	Solar do Barreiro	1394	Três Marias	2043	Dandara
740	Palmares	1168	Pilar	1396	Universo		
741	Palmeiras	1170	Novo Aarão Reis	1397	Urca		
742	Bandeirantes	1171	Distrito Industrial do Jatobá	1398	Várzea da Palma		

Fonte: BHMap (adaptado).