

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

ENGENHARIA DE TRANSPORTES

Jéssica Fernandes Teixeira

**RELAÇÃO DA DISPERSÃO DOS SINISTROS DE TRÂNSITO COM A
UTILIZAÇÃO DE APLICATIVOS DE NAVEGAÇÃO EM BELO HORIZONTE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Belo Horizonte – MG

2026

JÉSSICA FERNANDES TEIXEIRA

**RELAÇÃO DA DISPERSÃO DOS SINISTROS DE TRÂNSITO COM A
UTILIZAÇÃO DE APLICATIVOS DE NAVEGAÇÃO EM BELO HORIZONTE**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Graduação em Engenharia de Transportes do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Agmar Bento Teodoro

Teixeira, Jéssica Fernandes.
T266r Relação da dispersão dos sinistros de trânsito com a utilização
de aplicativos de navegação em Belo Horizonte / Jéssica Fernandes
Teixeira. – 2026.
53 f. : il.
Orientador: Agmar Bento Teodoro.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais, Graduação em Engenharia
de Transportes, Belo Horizonte, 2026.
Bibliografia.

1. Engenharia de Transportes. 2. Acidentes de trânsito. 3.
Automóveis - Sistemas de navegação. 4. Análise espacial
(Estatística). 5. Segurança no trânsito. I. Teodoro, Agmar Bento. II.
Título. CDD: 363.1251



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS
GERAIS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES -
NS



FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC Nº 16 / 2026 - CETR (11.51.07)

Nº do Protocolo: 23062.036199/2026-22

Belo Horizonte-MG, 13 de julho de 2026.

Jéssica Fernandes Teixeira

**RELAÇÃO DA DISPERSÃO DOS SINISTROS DE TRÂNSITO COM A UTILIZAÇÃO DE APLICATIVOS
DE NAVEGAÇÃO EM BELO HORIZONTE**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,
apresentado à Atividade de Projeto Final de Curso II, do
curso de Graduação em Engenharia de Transportes do
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
- CEFET-MG, como requisito parcial para a obtenção do
título de Bacharel.

Aprovado em 18 de junho de 2026

Banca examinadora:

Dr. Agmar Bento Teodoro — Orientador

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG

M.^a Bianca Gonçalves Lara

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG

Esp. Danielle Saranh Galdino Duarte Garcia

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG

BELO HORIZONTE
2026

(Assinado digitalmente em 13/07/2026 15:39)
AGMAR BENTO TEODORO
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DET (11.55.11)
Matrícula: 3685785

(Assinado digitalmente em 13/07/2026 15:44)
BIANCA GONCALVES LARA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DET (11.55.11)
Matrícula: 3522649

(Assinado digitalmente em 13/07/2026 15:43)
DANIELLE SARANH GALDINO DUARTE GARCIA
PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO
DET (11.55.11)
Matrícula: 1099775

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **16**, ano: **2026**, tipo: **FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC**, data de emissão:
13/07/2026 e o código de verificação: **30fee73964**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio incondicional e pela confiança em cada etapa desta jornada. Aos meus pais, pelo exemplo de perseverança e dedicação, e aos amigos que estiveram presentes nos momentos de estudo e de superação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, ao meu orientador Agmar Bento Teodoro, pela paciência, dedicação e pelas contribuições que enriqueceram este estudo. Sua orientação foi fundamental para que eu pudesse desenvolver este trabalho com rigor acadêmico e clareza metodológica.

À minha família, pelo incentivo constante, pelo carinho e pela compreensão nos momentos em que precisei me dedicar intensamente à pesquisa. Sem o apoio de vocês, esta conquista não seria possível.

Aos colegas e amigos, que estiveram presentes durante a trajetória acadêmica, compartilhando experiências, conhecimentos e palavras de motivação.

À instituição de ensino e aos professores, que contribuíram para minha formação, oferecendo não apenas conhecimento técnico, mas também valores éticos que levarei para minha vida profissional.

TEIXEIRA, Jéssica F. **Relação da dispersão dos sinistros de trânsito com a utilização de aplicativos de navegação em Belo Horizonte**. 2026. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia de Transportes. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2026.

RESUMO

O presente trabalho investiga a relação entre a utilização dos aplicativos de navegação por GPS e a dispersão espacial dos sinistros de trânsito em Belo Horizonte entre os anos de 2012 e 2024. A justificativa do estudo baseia-se na premissa de que, embora essas tecnologias otimizem o tempo de viagem, elas frequentemente desviam o fluxo de veículos de vias arteriais — projetadas para alto tráfego — para vias locais e coletoras de menor hierarquia viária, o que pode criar novas zonas de conflito e dificultar o alcance de metas globais de segurança viária. O objetivo geral da pesquisa foi avaliar se essa mudança no comportamento dos motoristas gerou uma redistribuição dos sinistros pela malha urbana, enquanto os objetivos específicos buscaram estabelecer uma cronologia do uso de aplicativos e analisar o deslocamento dos pontos críticos. A metodologia envolveu o levantamento de 104.328 registros brutos da Prefeitura de Belo Horizonte, resultando em 93.013 casos válidos, analisados por meio da técnica estatística de Densidade de Kernel no *software* QGIS para identificar padrões de concentração em períodos distintos: antes, durante a inserção e após a consolidação tecnológica. Os resultados demonstraram que, apesar do crescimento da frota de veículos a uma taxa de 5,2% ao ano, o número total de sinistros apresentou uma leve redução (-0,4%), porém com uma mudança qualitativa na sua localização. Nos anos de 2012 e 2013, os sinistros concentravam-se em grandes eixos como as avenidas Amazonas e Cristiano Machado, mas a partir de 2015 observou-se uma dispersão para vias secundárias, como a Rua Ministro Oliveira Salazar e a Avenida Bernardo de Vasconcelos. Simulações realizadas no Google Maps confirmaram que essas vias são sugeridas pelos algoritmos como alternativas competitivas em horários de pico. A conclusão ratifica a hipótese de que o uso de aplicativos de navegação contribuiu para a descentralização dos pontos críticos, transferindo o risco para ambientes originalmente residenciais, e recomenda que órgãos de trânsito passem a registrar o uso de GPS nos boletins de ocorrência para fortalecer futuras evidências estatísticas.

Palavras-chave: Sinistros de trânsito; Aplicativos de navegação; Dispersão espacial; Belo Horizonte; Segurança viária.

TEIXEIRA, Jéssica F. **Relationship between the dispersion of traffic accidents and the use of navigation applications in Belo Horizonte**. 2026. Undergraduate Final Report. Transportation Engineering. Federal Center for Technological Education of Minas Gerais (CEFET-MG), 2026.

ABSTRACT

This study investigates the correlation between the use of GPS navigation applications and the spatial dispersion of traffic accidents in Belo Horizonte between 2012 and 2024. The justification for the research lies in the premise that, although these technologies optimize travel time, they often divert vehicle flow from arterial roads—designed for high traffic volumes—to local and collector roads of lower hierarchy, which may create new conflict zones and hinder the achievement of global road safety targets. The general objective was to assess whether this change in driver behavior led to a redistribution of accidents across the urban network, while the specific objectives sought to establish a chronology of application usage and analyze the displacement of critical points. The methodology involved collecting 104,328 raw records from the Belo Horizonte City Hall, resulting in 93,013 valid cases, analyzed using Kernel Density Estimation in QGIS to identify concentration patterns in distinct periods: before, during, and after technological consolidation. The results showed that, despite the vehicle fleet growing at an annual rate of 5.2%, the total number of accidents slightly decreased (-0.4%), but with a qualitative change in their location. In 2012 and 2013, accidents were concentrated along major corridors such as Amazonas and Cristiano Machado avenues, but from 2015 onwards, dispersion was observed toward secondary roads, such as Rua Ministro Oliveira Salazar and Avenida Bernardo de Vasconcelos. Simulations conducted in Google Maps confirmed that these roads are suggested by algorithms as competitive alternatives during peak hours. The conclusion supports the hypothesis that the use of navigation applications contributed to the decentralization of critical points, transferring risk to originally residential environments, and recommends that traffic authorities include GPS usage in accident reports to strengthen future statistical evidence.

Keywords: Traffic accidents; Navigation apps; Spatial distribution; Belo Horizonte; Road safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Quantidade de artigos publicados por ano, entre 2020 e 2025	27
Figura 2: Quantidade de artigos publicados por país, entre 2020 e 2025	28
Figura 3: Quantidade de artigos publicados por área de estudo, entre 2020 e 2025	28
Figura 4: Fases seguidas pelo método proposto.....	36
Figura 5: Exemplo de dados desconsiderados.....	38
Figura 6: Tipo de sinistro identificado por ano.....	43
Figura 7: Evolução da frota de veículos	44
Figura 8: Principais vias de Belo Horizonte	46
Figura 9: Regionais de Belo Horizonte	46
Figura 10: Mapa de calor - 2012	47
Figura 11: Mapa de calor - 2013	47
Figura 12: Mapa de calor - 2015	47
Figura 13: Mapa de calor - 2017	47
Figura 14: Mapa de calor - 2019	48
Figura 15: Mapa de calor - 2020	48
Figura 16: Mapa de calor - 2022	48
Figura 17: Mapa de calor - 2024	48
Figura 18: Análise - Praça da Liberdade até o bairro Céu Azul.....	53
Figura 19: Análise - Praça da Liberdade até Avenida Antônio Francisco Lisboa	54
Figura 20: Análise - Praça da Liberdade até o bairro Piratininga	55
Figura 21: Análise - Praça da Liberdade até o bairro Capitão Eduardo	56
Figura 22: Análise - Praça da Liberdade até o Parque Aggeo Pio Sobrinho	57
Figura 23: Análise - Praça da Liberdade até o bairro Pindorama.....	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Aplicativos de transporte privado em Belo Horizonte	23
Quadro 2: Artigos com temas relacionados aos sinistros de trânsito e GPS na engenharia, publicados em 2025	29
Quadro 3: Campos disponibilizados nos registros de sinistros de Belo Horizonte	38
Quadro 4: Total de registros desconsiderados.....	40

LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAGR: Taxa de Crescimento Anual Composta

CONTRAN: Conselho Nacional de Trânsito

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

GNSS: Sistema de Satélite de Navegação Global

GPS: Global Positioning System

NBR: Norma Brasileira

OMS: Organização Mundial da Saúde

OPAS: Organização Pan-Americana da Saúde

PBH: Prefeitura de Belo Horizonte

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

PRF: Polícia Rodoviária Federal

PVT: Programa Vida no Trânsito

SENATRAN: Secretaria Nacional de Trânsito

SIG: Sistema de Informações Geográficas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Justificativa.....	13
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivo Geral	14
1.2.2. Objetivos Específicos	14
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1. Conceitos Norteadores.....	16
2.1.1. Sinistro de trânsito.....	16
2.1.2. Classificação viária.....	19
2.1.3. Sistema de informação geográfica	21
2.1.4. Aplicativos de navegação por GPS e de transporte privado	22
2.1.5. Planejamento urbano	25
2.1.6. Comportamento do usuário	26
2.2. Referência Bibliométrica	27
3. METODOLOGIA	36
3.1. Levantamento de dados.....	36
3.2. Tratamento de dados	37
3.3. Análise espacial	40
3.4. Análise crítica dos resultados.....	41
4. RESULTADOS.....	42
4.1. Tipo de sinistro identificado por ano.....	42
4.2. Evolução da frota de veículos	43
4.3. Caracterização da malha viária e divisão administrativa.....	44
4.4. Análise espacial – densidade de Kernel.....	46
4.5. Avaliação de rotas pelo Google Maps.....	51
5. CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS.....	61

1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo visa apresentar uma contextualização dos problemas relacionados ao uso de aplicativos de navegação por GPS com a dispersão da ocorrência de sinistros de trânsito em Belo Horizonte/MG. Dessa forma, foram abordados os objetivos gerais e específicos, assim como a justificativa para a escolha deste tema de pesquisa.

1.1. Justificativa

Segundo a OMS (2021), ocorrem cerca de 1,3 milhões de mortes evitáveis em todo o mundo, advindas dos sinistros de trânsito, assim como cerca de 50 milhões de feridos por ano, sendo esta a principal causa de mortes de crianças e jovens em todo o mundo. A Organização Mundial da Saúde, disponibilizou o Plano Global para a Década de Ação para Segurança Viária 2021-2030, que visa ser um guia para os poderes públicos, a sociedade e iniciativa privada, para reduzir as mortes e lesões no trânsito em pelo menos 50% até 2030.

O Governo Federal Brasileiro, através do Conselho Nacional de Trânsito (Contran), criou o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (Pnatrans). Este plano está alinhado com as recomendações da OMS e considera que nenhuma morte no trânsito é aceitável, além de prever que a gestão da segurança no trânsito deve ser integrada e proativa, compartilhando responsabilidades. O Pnatrans possui seis pilares para alcançar o objetivo de reduzir pela metade o índice nacional de mortos no trânsito até 2030, sendo eles: gestão da segurança no trânsito, vias seguras, segurança veicular, educação para o trânsito, vigilância, promoção da saúde e atendimento às vítimas no trânsito e normatização e fiscalização.

Com isso, observa-se que os sinistros de trânsito são um problema mundial, que gera um custo imensurável com a perda de vidas, que poderia ser evitado. As ações para conscientizar a população e para agir ativamente para que este problema diminua são de suma importância para salvar vidas e melhorar a qualidade de vida da população.

Com o desenvolvimento das tecnologias e facilidade de acesso, os aplicativos de navegação por GPS estão se inserindo cada vez mais no cotidiano da população, trazendo benefícios como a informação em tempo real de congestionamentos,

otimização de rotas, dentre outros. Entretanto, para a otimização de rotas, estes aplicativos desviam os veículos das vias arteriais, que possuem maior mobilidade e são projetadas para o alto fluxo de veículo das cidades, para vias locais, que são menos utilizadas para viagens de longas distâncias, devido à suas características.

Ao avaliar a necessidade de diminuir os sinistros de trânsito e a dispersão dos veículos advinda dessas rotas otimizadas, tem-se que a dispersão pode gerar problemas, como a criação de novas zonas de conflitos, que irão aumentar a quantidade de sinistros até que se tomem medidas para evitá-los. Assim, este é um ponto de atenção, que dificulta a diminuição do número de sinistros prevista até 2030.

A cidade de Belo Horizonte, em Minas Gerais, está alinhada com as metas de redução dos sinistros citada anteriormente, além de possuir usuários dos aplicativos de navegação por GPS e dados abertos sobre os sinistros, ao longo dos anos, possibilitando um estudo de caso para avaliar se de fato existe um risco associado à dispersão das rotas.

Assim, este estudo visa entender: existe uma relação entre a dispersão dos sinistros de trânsito na cidade de Belo Horizonte/MG com a utilização de aplicativos de navegação por GPS?

1.2. Objetivos

1.2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é avaliar a relação entre a dispersão dos sinistros de trânsito na cidade de Belo Horizonte, em Minas Gerais, com a utilização de aplicativos de navegação por GPS.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir este objetivo, definiu-se os objetivos específicos a seguir:

- Caracterizar o padrão espacial dos sinistros de trânsito em Belo Horizonte, comparando os períodos anteriores e posteriores à disseminação da utilização de aplicativos de navegação por GPS;

- Estabelecer uma cronologia da implementação e consolidação dos aplicativos de transporte e navegação no município para servir de base à análise temporal dos dados de sinistros;
- Analisar a dispersão dos pontos críticos, verificando o deslocamento das ocorrências do sistema arterial principal para vias de menor hierarquia viária, como ruas coletoras e locais.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo visa caracterizar os principais termos utilizados neste estudo, com o intuito de facilitar a compreensão e obter embasamento teórico para as discussões e análises. Além disso, a compreensão destes termos reforça a importância do tema a ser abordado.

Dessa forma, serão descritos os conceitos de sinistros de trânsito, classificação viária, sistema de informação geográfica, planejamento urbano, aplicativos de navegação por GPS e comportamento do usuário. Por fim, serão apresentados indicadores, obtidos através da base de dados *Scopus*, sobre os locais que mais pesquisam sobre este tema, quantidade de artigos e similaridade com a pesquisa proposta.

2.1. Conceitos Norteadores

2.1.1. SINISTRO DE TRÂNSITO

É importante salientar que o termo “sinistro de trânsito” começou a ser utilizado oficialmente no Brasil em 2020, antes ele era definido como acidente de trânsito. Entretanto, fica subentendido por este termo que o ocorrido era inevitável ou aleatório, o que não é verdade, uma vez que a geometria da via, manutenção do veículo, comportamento do condutor, entre outros fatores, podem evitar a ocorrência do sinistro. Dessa forma, a ABNT 10697 define que sinistro de trânsito é:

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 prejuízo ao trânsito, à via ou ao meio ambiente, em que pelo menos uma das partes está em movimento nas vias terrestres ou áreas abertas ao público (ABNT NBR, 2020, p. 5).

A norma também segrega os sinistros de trânsito em três possibilidades, avaliando se existe uma vítima e se ela é ou não fatal, assim:

- Sinistro de trânsito sem vítima: apresenta dano material, prejuízos ao trânsito, à via ou ao meio ambiente, mas sem resultar em vítima;
- Sinistro de trânsito com vítima não fatal: pode possuir os mesmos dados do sinistro de trânsito sem vítima, mas com pelo menos uma vítima, sendo que nenhuma delas pode ser fatal;

- Sinistro de trânsito com vítima fatal: além dos demais danos citados anteriormente, deve haver pelo menos uma vítima morrendo imediatamente ou em até 30 dias, necessariamente devido ao sinistro ou implicações resultantes dele.

Cabe ressaltar que, caso o evento não apresente vítima nem dano material, mas que possua prejuízos ao trânsito, à via ou ao meio ambiente, ele é caracterizado como incidente de trânsito, segundo a ABNT (2020, p. 5).

Os sinistros de trânsito podem possuir características distintas, sendo que, para cada um deles, podem existir diferentes tipos de ações para evitar que voltem a ocorrer. Ferraz *et al.* (2023), baseado na NBR 10697, apresenta 12 tipos de sinistros, além da categoria outros, quando ele não se enquadra em nenhuma das classificações a seguir:

- Colisão traseira: acontece na frente contra a traseira ou na traseira contra a traseira, sendo que os veículos podem estar transitando no mesmo sentido ou em sentidos opostos, ou ainda, com um deles em marcha ré. Geralmente, o veículo que está à frente freia bruscamente, ou em uma velocidade muito baixa, enquanto o veículo de trás está muito próximo ou com uma velocidade muito alta e não consegue frear a tempo, ocasionando a colisão;
- Colisão frontal: neste caso os veículos estão em sentidos opostos, mas na mesma direção, ocasionando em uma colisão frontal. Ocorre quando os veículos invadem a pista do sentido oposto, em geral, devido à uma ultrapassagem imprudente ou perda de controle, advinda de uma curva fechada, excesso de velocidade, foco de atenção desviado, cochilo, defeito do veículo ou problema na pista;
- Colisão transversal: ocorre quando os veículos estão em direções que se cruzam, podendo ser ortogonal ou obliquamente, sendo comum quando os veículos avançam sinais de pare ou dê a preferência, ou, ainda, avançam o sinal vermelho de um semáforo. Este sinistro também é conhecido como abalroamento transversal;

- Colisão lateral: ocorre quando os veículos transitam na mesma direção, no mesmo sentido ou em sentidos opostos. Acontece, normalmente, quando um dos veículos não identifica a presença do que está ao seu lado e invade a faixa, seja para ultrapassar outro veículo, fazer uma conversão ou apenas mudar de faixa. Pode ocorrer quando outro veículo invade parcialmente a pista contrária, também é conhecido como abalroamento lateral;
- Choque: este sinistro ocorre entre um veículo e um objeto, seja ele fixo ou móvel, desde que não esteja em movimento. Neste caso, o veículo costuma perder o controle e sair da pista, sendo ocasionado por pelo menos um destes fatores: curva fechada, excesso de velocidade, foco de atenção desviado, cochilo, defeito no veículo, problema na pista, etc.;
- Atropelamento de animal: ocorre quando pelo menos um animal sofre com o impacto de um veículo em movimento, pode ser ocasionado pela presença de um animal na via, em conjunto ou não com a falta de cuidado do condutor, assim como da perda de controle do veículo e saída da via, devido à pelo menos um destes fatores: curva fechada, excesso de velocidade, foco de atenção desviado, cochilo, defeito no veículo, problema na pista, etc.;
- Atropelamento de pessoa: ocorre quando pelo menos uma pessoa sofre com o impacto de um veículo em movimento, pode ser ocasionado pela falta de atenção do pedestre e/ou do condutor, assim como da perda de controle do veículo e saída da via, devido à pelo menos um destes fatores: curva fechada, excesso de velocidade, foco de atenção desviado, cochilo, defeito no veículo, problema na pista, etc.;
- Tombamento: nesta situação, o veículo sai da sua posição normal, sendo imobilizado sobre uma das suas laterais, frente ou traseira. Pode acontecer devido à uma colisão, choque ou saída de pista e queda sobre uma superfície situada em plano inferior ou, ainda, subida ou queda em um talude;
- Capotamento: ocorre quando o veículo gira sobre si mesmo, independentemente do sentido, sendo que, em algum momento as rodas ficam

para cima, imobilizando-se em qualquer posição. Apresenta as mesmas causas do tombamento, mas mais acentuadas;

- Engavetamento: apresenta pelo menos três veículos envolvidos, em um mesmo sentido de circulação, gerando uma sequência de colisões traseiras, laterais ou transversais. Normalmente, os veículos não estão à uma distância de segurança compatível com a velocidade, condições da pista ou ambientais, sendo comum quando a pista está lisa e/ou quando a visibilidade é baixa por causa de nevoeiro;
- Queda: há impacto em razão de queda livre do veículo, queda de pessoas ou cargas transportadas em razão do movimento do veículo. Neste caso, costuma ocorrer um transporte inadequado de cargas, desequilíbrio de passageiros no interior de um ônibus, advindo de movimentos bruscos, etc;
- Sequência: é caracterizado pela combinação dos demais sinistros de trânsito apresentados, que devem ocorrer em sequência, no mesmo evento.

2.1.2. CLASSIFICAÇÃO VIÁRIA

Segundo Brasil (2010, p. 43) “A classificação funcional é o processo pelo qual as vias são agrupadas hierarquicamente em subsistemas, conforme o tipo de serviço que oferecem e a função que exercem”. Ainda de acordo com Brasil (2010, p. 43), essa classificação está relacionada com a mobilidade, que é o grau e facilidade para deslocar-se e com a acessibilidade, que é o grau de facilidade que oferece uma via para conectar a origem de uma viagem com seu destino. Dessa forma, as vias costumam ser separadas em 4 sistemas, de acordo com as suas características e funções.

I. Sistema arterial principal

O sistema arterial principal é composto por vias expressas primárias, secundárias e vias arteriais primárias. Brasil (2010, p. 46) menciona que este sistema está envolvido com os principais centros de atividades das áreas urbanas, com viagens mais longas, sendo os corredores com o maior volume de tráfego, mesmo que este represente uma pequena porcentagem da rede viária, em extensão. Além disso, ele deve ter

correlação com as principais rodovias estaduais e federais, proporcionando acesso direto aos principais geradores de tráfego, fazendo ligação de toda a área urbana.

Devido a estas características, a maioria das vias com controle de acesso, total ou parcial, fazem parte dessa classe funcional, mesmo não sendo restrito à estas rotas com controle de acesso, conforme Brasil (2010, p. 47). Este manual também define que:

- Vias expressas primárias possuem controle total de acesso, com todas as interseções em desnível e com grandes fluxos de tráfego. Considerando o controle de acesso total, o uso do solo no seu entorno não está relacionado com a sua operação e, além disso, sua implantação não pode ser uma barreira para o desenvolvimento urbano. Entretanto, ela pode ser uma fronteira natural entre diferentes usos do solo, separando áreas industriais de residenciais, por exemplo;
- Vias expressas secundárias podem apresentar interseções em nível com algumas vias transversais, mas, normalmente, não proporciona acesso às propriedades adjacentes. As interseções em nível devem ser com as arteriais primárias, secundárias e coletoras com baixo volume de tráfego, desde que sejam semaforizadas e totalmente canalizadas.
- Vias arteriais primárias apresentam um percurso contínuo, com tráfego direto, mas sem as características técnicas de uma via expressa. Elas possuem controle dos acessos aos lotes marginais, para evitar o atrito lateral e eliminar pontos de conflito. Deve possuir velocidades de operação e níveis de serviço elevados, assim como seu grau de mobilidade. Além disso, a maioria das interseções é em nível, com um controle compatível com a capacidade da via.

II. Sistema arterial secundário

Este sistema deve estar conectado com o sistema arterial principal, possuindo percursos de extensões intermediárias e níveis de serviço inferiores, distribuindo o tráfego por áreas menores do que as atendidas pelo sistema principal, como citado em Brasil (2010, p. 49). Ainda segundo este manual, o sistema possui maior conexão

com as propriedades e pode apresentar linhas de ônibus locais, interligando comunidades, mas sem de fato penetrá-las.

III. Sistema coletor

De acordo com Brasil (2010, p. 49), sua principal função é conectar as ruas locais com as vias arteriais, adentrando as comunidades locais ou subdivisões urbanas, com velocidades menores, em comparação com os sistemas apresentados anteriormente. Neste caso, as viagens podem chegar até o seu destino final, nas vizinhanças residenciais ou, inversamente, coletando o tráfego na origem, para condução às demais vias. Este sistema pode apresentar cruzamentos em nível, vias dos centros urbanos, com grande volume de tráfego, também podem ser incluídas neste sistema, como mencionado em Brasil (2010, p. 50).

IV. Sistema local

Por fim, Brasil (2010, p. 50) define o sistema local como todas as vias não incluídas nos sistemas hierarquicamente superiores, sua principal função é garantir o acesso das propriedades adjacentes aos sistemas de ordem superior. Além disso, seu nível de mobilidade é menor, enquanto sua acessibilidade é maior, com um desencorajamento do tráfego de passagem e, normalmente, não possui rotas de ônibus.

2.1.3. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Para analisar os sistemas de informações geográficas, deve-se entender o que é geoprocessamento. Segundo Câmara e Davis (2001, p. 1), geoprocessamento é uma disciplina que utiliza técnicas tanto matemáticas quanto computacionais, a fim de tratar as informações geográficas das áreas da cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional. Eles também afirmam que as ferramentas computacionais que realizam as análises complexas, integrando dados de diversas fontes e criando bancos de dados georreferenciados são denominados como sistemas de informação geográfica.

Dessa forma, os sistemas de informações geográficas (SIG) podem ser definidos como:

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) compreendem um conjunto de aplicativos capazes de lidar computacionalmente com dados georreferenciados, que são aqueles que estão associados a informações espaciais. Os SIG incluem os sistemas de informação que tornam possível a captura, modelagem, manipulação, recuperação, análise e apresentação de dados referenciados geograficamente (ou dados georreferenciados). De forma geral, um software de SIG é um sistema composto pelo componente de captura de dados, componente de armazenamento, componente de análise e componente de apresentação dos dados espaciais (Ferreira, 2013, p. 26).

De acordo com Ferreira (2006), as informações geográficas podem se referir a locais na superfície da Terra, onde alguma coisa está, o que está em uma determinada localização e, além disso, pode ser muito detalhada, como a informação de cada árvore em uma floresta, como muito superficial, considerando a densidade populacional de um país, por exemplo. Ainda considerando Ferreira (2006), as informações geográficas sempre são relativamente estáticas, podendo ser muito volumosas e, com a utilização de formas digitais, surgiram várias tecnologias, dentre elas, as que possuem maior destaque são o Sistema de Satélite de Navegação Global (GNSS) e o sensoriamento remoto.

2.1.4. APLICATIVOS DE NAVEGAÇÃO POR GPS E DE TRANSPORTE PRIVADO

Os aplicativos de transporte privado possuem um padrão, que segundo o Uber (2017), permite que o motorista inicie a viagem pelo próprio aplicativo, sendo que ele calcula a tarifa com base do tempo da viagem. Assim, o tempo da viagem deve ser menor, para que o motorista consiga fazer mais viagens e, portanto, ganhar mais. Já os aplicativos que indicam as rotas com menores tempos de percurso, de acordo com Newswaze (2014), possuem dados e mapas viários atualizados em tempo real, o que possibilita que o usuário visualize a situação do trânsito naquele momento, além de receber sugestões de rotas otimizadas a partir destas informações.

Os aplicativos que indicam as rotas com menor tempo de percurso já estavam em Belo Horizonte no ano de 2013, porém eles começaram a ser mais utilizados após a inserção dos aplicativos de transporte privado no município, que ocorreu em 2014. Assim, foi realizada uma pesquisa sobre o ano em que cada aplicativo começou a operar em Belo Horizonte. Ao todo são doze aplicativos que operam no município,

sendo que o primeiro começou em 2014 e o último chegou em 2023, como mostra o Quadro 1 a seguir:

Quadro 1: Aplicativos de transporte privado em Belo Horizonte

Aplicativo	Ano	Fonte
Uber	2014	Uber (2016)
Cabify	2016	G1 (2016)
Yet Go	2017	Bicalho (2017), Hoje em Dia
99 Pop	2017	Oliveira (2017), Hoje em Dia
Ryd3	2017	Oliveira (2017), Hoje em Dia
Homodriver	2018	Araújo (2018), G1
Venuxx	2019	Butcher (2019), Mibiletime
Up Trip	2021	Agenda BH (2021)
7Move	2021	Santos (2021), Contábeis
Lady driver	2022	Diário do Comércio (2022)
Urban BH	2023	Barbosa (2023), Estado de Minas
RepMov	2023	Barbosa (2023), Estado de Minas

Fonte: Autora

Os aplicativos Homodriver, Venuxx e Lady Driver têm como objetivo atender um público específico, formado por pessoas em situação de vulnerabilidade social em razão de sua orientação sexual ou gênero. Por se tratar de plataformas voltadas a um nicho restrito, a tendência é que não exerçam impacto significativo sobre o tráfego nas vias locais.

Em contrapartida, conforme Leocádio (2019), em notícia publicada no G1, o Uber contava, em 2019, com aproximadamente 35 mil motoristas cadastrados em Belo Horizonte, enquanto o número de taxistas regularizados era de cerca de 10.500. Já Pizarro (2017), em reportagem veiculada no jornal O TEMPO, apontava que o Uber possuía cerca de 20 mil motoristas ativos na capital mineira, o que representa um crescimento de 75% em dois anos. Esses dados evidenciam a expansão dos aplicativos de transporte privado em Belo Horizonte.

Além disso, segundo Paranaíba (2019), o aplicativo Waze registrava até 20 mil motoristas conectados simultaneamente nos horários de pico da cidade, em 2019. Ressalta-se que outros aplicativos, como o 99 Pop, não disponibilizaram informações

sobre o número de motoristas cadastrados. Dessa forma, detalhou-se os aplicativos Uber e Waze, que apresentam maior disponibilidade de dados.

I- Waze

O Waze pode ser definido como:

Waze é um aplicativo de navegação com a iniciativa de criar comunidades locais de motoristas que possam compartilhar informações de trânsito entre si. Esses dados de tráfego e estradas em tempo real relatados pelos passageiros conectados são usados para melhorar a qualidade da condução diária de todos. Como acontece com todos os aplicativos de *crowdsourcing*, o valor do Waze depende muito do número de usuários. Só será possível aproveitar os benefícios do Waze se houver um número suficiente de usuários que gerem informações de trânsito (Junior, 2024, p.16).

Segundo Junqueira (2017, p. 16), *crowdsourcing* é uma fonte de força de trabalho, em que pessoas de qualquer formação, sem recompensa financeira, auxiliam na realização de tarefas, para promover conhecimento ou solucionar problemas, por meios informatizados.

Junior (2024, p. 16) também cita que os editores de mapas do Waze coletam as informações sobre fechamentos de estradas com os operadores rodoviários e editam os mapas manualmente e voluntariamente. De acordo com Costa, Fernandes Alixandrini Jr (2015, p. 76), o Waze se tornou popular em vários países devido às suas funcionalidades, descrevendo 5 utilidades do aplicativo:

- Mapas atualizados: com a troca de informações em tempo real, seja de maneira ativa ou passiva, o aplicativo fornece mapas atualizados mesmo com alterações recentes do sistema viário;
- Filtros por camadas: os usuários também podem utilizar diversas camadas disponíveis, como a velocidade do tráfego em cada trecho, blitz policiais, radares, sinistros, dentre outras. Entretanto, camadas como as de blitz e radares são controversas, por permitirem que o usuário burle a lei, fugindo da blitz ao dirigir alcoolizado, por exemplo;
- Navegação otimizada: com a utilização do GPS, o Waze sugere rotas entre a origem e destino desejados, com um diferencial da avaliação em tempo real,

tanto do volume de tráfego quanto de eventos diversos, como sinistros de trânsito ou bloqueios temporários, identificando rotas otimizadas;

- Dados de preços de combustíveis: o aplicativo possui uma base de dados dos postos de gasolina, com o preço cobrado em cada um deles, informando também a data em que este valor foi atualizado, uma vez que essa informação é atualizada pelos próprios usuários;
- Compartilhamento de percurso: ele permite o compartilhamento de percurso com outros usuários que façam parte dos seus contatos, dentro do próprio aplicativo, facilitando a organização de caronas, por exemplo.

II- Uber

Santos e Gonçalves (2023, p. 247), descrevem a plataforma do Uber, que é um serviço individual de transporte pago, utilizado por meio de um aplicativo de celular. Seu sucesso advém de ser um serviço global de compartilhamento de viagens, que transformou o tradicional negócio de táxi, em uma plataforma de tecnologia de comunicação via Internet. Os autores também citam que ocorre a busca por padronização dos comportamentos, devido a capacidade do motorista e do passageiro se avaliarem, gerando uma busca por boas avaliações.

No site do Uber, eles apresentam como usar outros aplicativos de navegação por GPS, integrados ao aplicativo do próprio Uber. Dessa forma, apesar de possuir um mapa próprio, os motoristas podem utilizar outros mapas para navegação, como o Waze.

2.1.5. PLANEJAMENTO URBANO

Segundo Ruiz e Gândara (2013, p. 262), o planejamento urbano idealiza, cria e desenvolve soluções com o objetivo de melhorar, revitalizar e criar determinados aspectos de uma área urbana ou região, para proporcionar aos habitantes uma melhoria na qualidade de via. Já Hoffmann, Miguel e Pedroso (2011, p. 71) mencionam que o planejamento urbano é o plano diretor de cada cidade, que deve ser desenvolvido por órgãos e pessoas envolvidas no assunto, para melhorar a

qualidade de vida dos habitantes, utilizando-se da área urbana, no desenvolvimento da estruturação e apropriação do espaço urbano.

Ainda segundo os autores, o planejamento não deve ficar apenas no papel, mas sim aperfeiçoar e identificar os erros, de forma a proporcionar soluções práticas e funcionais, com avaliações periódicas sobre os assuntos abordados nos planos diretores, para que o planejamento seja desenvolvido adequadamente para as cidades.

2.1.6. COMPORTAMENTO DO USUÁRIO

Corassa (2003, p. 49) classifica o comportamento dos veículos em três tipos básicos, sendo eles:

- Os cautelosos: estes motoristas são caracterizados pelo respeito, tanto às normas, quanto ao espaço dos outros e ao trânsito;
- Os donos do mundo: neste tipo o motorista é briguento, agitado, age como se os demais motoristas não soubessem de nada e consideram que tudo deve girar em torno deles;
- Comportamentos mascarados: por fim, tem-se aqueles que fora do trânsito são pessoas adequadas, como no trabalho ou com a família. Entretanto, ao estar no controle do veículo, tendem a ser agressivos, transformando o carro em um objeto de poder e autoafirmação, a fim de compensar inseguranças ou sentimentos de inferioridade.

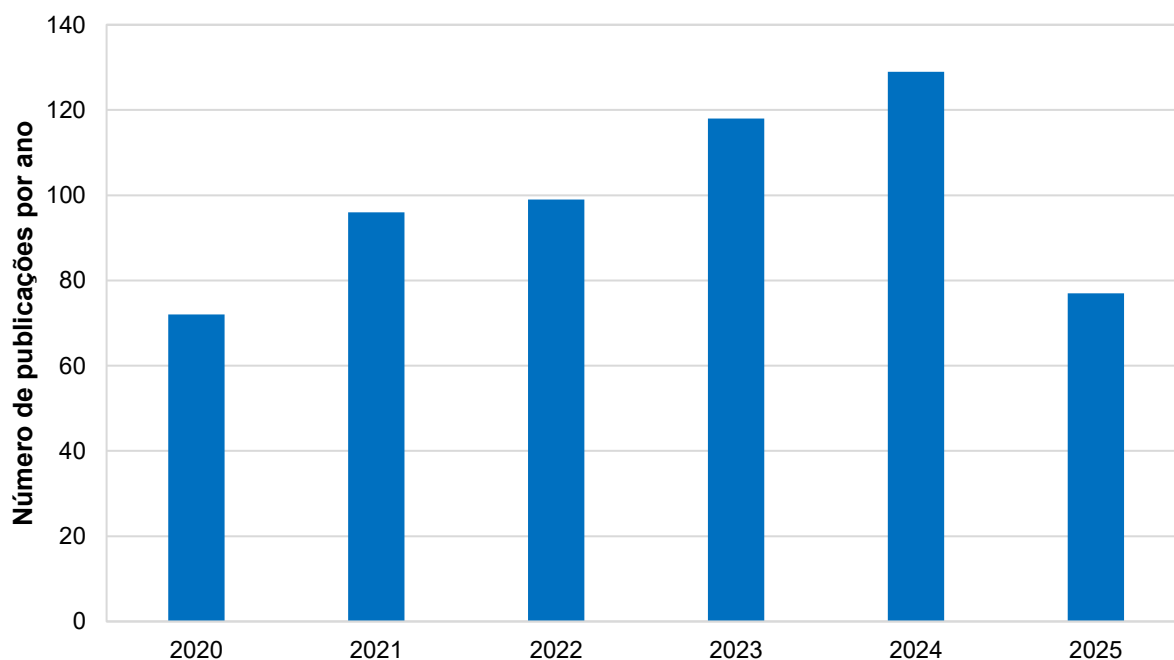
Ainda segundo Corassa (2003) tem-se que muitos motoristas consideram que o carro é uma extensão da própria casa, que é considerado um local de proteção e remete a segurança, tanto física quanto psicológica, assim como um lugar de afeto, conforto e privacidade. Assim, ela cita que ao considerar que o carro é uma extensão da casa, ele também irá remeter aos mesmos sentimentos, agindo como se estivesse em um ambiente privado e não público, tomando atitudes inadequadas para o ambiente e gerando conflitos no trânsito.

2.2. Referência Bibliométrica

Para entender a relevância do tema, assim como o quão explorado é o assunto, pesquisou-se trabalhos acadêmicos em bases de dados confiáveis e com ampla divulgação de publicações científicas. Dessa forma, utilizou-se a base de dados *Scopus*, com a busca inicial a seguir: (TITLE-ABS-KEY (traffic AND accident) AND TITLE-ABS-KEY (gps)) AND PUBYEAR > 2013 AND PUBYEAR < 2026. Este algoritmo resultou em 1.050 publicações entre os anos de 2014 e 2025, desde que tivessem em seu título, resumo ou palavras-chave, os termos “*traffic accident*” e “GPS”. Limitando as publicações para a área de engenharia, foram obtidos 628 artigos.

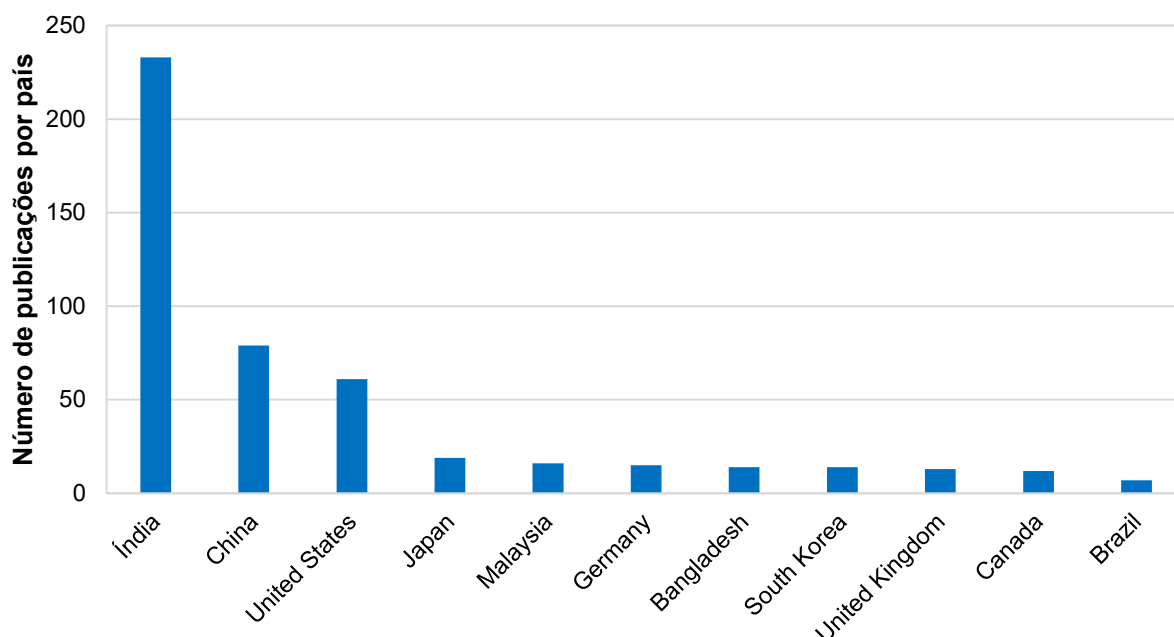
Após a primeira busca, visando limitar a quantidade de arquivos, foram avaliados os anos de 2020 a 2025, resultando em 591 publicações. Estes arquivos foram analisados em relação ao ano de publicação, país de desenvolvimento e área de conhecimento, conforme apresentado a seguir:

Figura 1: Quantidade de artigos publicados por ano, entre 2020 e 2025



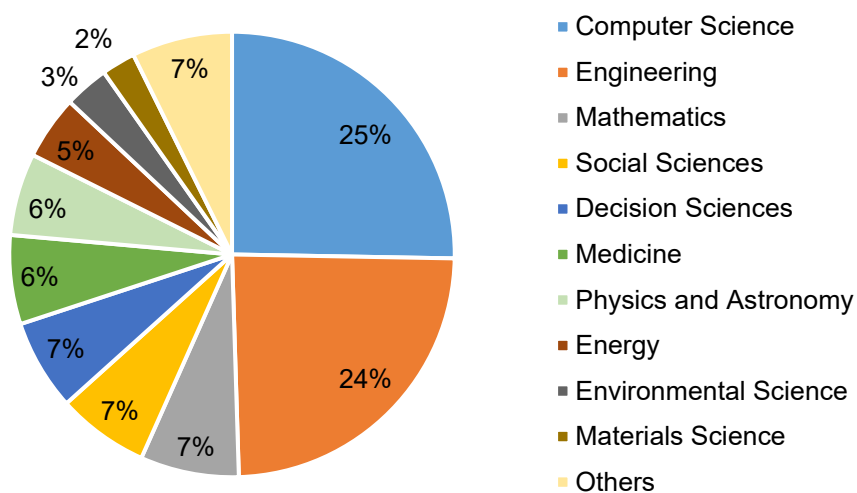
Fonte: Scopus

Figura 2: Quantidade de artigos publicados por país, entre 2020 e 2025



Fonte: Scopus

Figura 3: Quantidade de artigos publicados por área de estudo, entre 2020 e 2025



Fonte: Scopus

Ao avaliar a Figura 1, observa-se que o número de publicações envolvendo sinistros de trânsito e GPS está aumentando ao longo dos anos, tendo em vista que, para 2025, foram considerados os artigos publicados até setembro. Em relação aos países que mais estudam o tema, conforme apresentado na Figura 2, a Índia possui 39,4% das

publicações, enquanto no Brasil, há 7 artigos sobre o tema nos últimos 5 anos, demonstrando a importância de estudar mais o assunto em pauta. Por fim, em relação as principais áreas de conhecimento que estudam o assunto, a Figura 3 mostra que a ciência da computação e engenharia são responsáveis por quase 50% das publicações.

Para compreender a relevância dos temas estudados no presente trabalho, foram avaliados 20 artigos da engenharia, publicados em 2025, a fim de se obter as informações mais atualizadas disponíveis. Dessa forma, o Quadro 2 a seguir apresenta um resumo destes artigos.

Quadro 2: Artigos com temas relacionados aos sinistros de trânsito e GPS na engenharia, publicados em 2025

Autor	Título	Ano	Resumo
B. Kutela T. J. Chengula F. Ngeni C. Lippu E. Kidando J.Liu S. Das	Examining Patterns of GPS-Related Traffic Crashes: Insights from a Matched Case-Control Approach through Crash Narratives	2025	Os sistemas de posicionamento global (GPS) revolucionaram o transporte, mas seu papel em sinistros de trânsito ainda é pouco estudado. A pesquisa analisou dados de sinistros em Ohio (2017–2022) e identificou que colisões relacionadas ao uso de GPS ocorrem com mais frequência em interseções, sob condições climáticas adversas e entre motoristas jovens ou veículos comerciais. Os resultados apontam a necessidade de melhorias tecnológicas, infraestrutura adequada e educação dos condutores para reduzir riscos e aumentar a segurança viária.
A. Ghanbari S. Spears B. Cikmaz J. Cavanaugh C. Hamann	On the road to school: A naturalistic study of adolescent bicyclist route safety	2025	O estudo investigou fatores que influenciam a segurança de rotas escolhidas por estudantes que vão de bicicleta à escola, analisando dados de GPS, vídeos e questionários. Constatou-se que alunos mais jovens e moradores de áreas com melhor infraestrutura cicloviária escolhem trajetos mais seguros, e que o aplicativo Komoot recomenda rotas mais seguras que o Google Maps. Os resultados reforçam a importância de infraestrutura adequada, melhorias em aplicativos de navegação e orientação familiar para aumentar a segurança dos ciclistas jovens.

Autor	Título	Ano	Resumo
S. H. Im S. H. Jeong J.-H. Kim D. H. Kim S. W. Kim J. H. Seo H. E. Kang J. Y. Park	Development of an automatic berthing system for twin-shaft twin-rudder ship based on push-pull mode utilizing kick motion	2025	O estudo propõe um sistema automático de atracação para navios com duplo eixo e duplo leme, utilizando o modo <i>push-pull</i> e o movimento de impulso (<i>kick motion</i>) para aumentar a estabilidade e precisão. O sistema integra sensores LiDAR, filtro de Kalman estendido, planejamento de trajetória e controle PID. Testes em modelo reduzido mostraram atracação estável e precisa, servindo de base para futuras aplicações em portos reais.
Y. Ye Y. Long W. Li Y. Yi	Depth-driven machine vision framework for accurate vehicle speed measurement in dynamic environments	2025	O estudo propõe um método de visão computacional baseado em profundidade e YOLOv5 para medir a velocidade de veículos sem depender de objetos de referência, superando limitações de radar, LiDAR, GPS e abordagens tradicionais de visão. O método calcula deslocamento de pixels adaptando-se a diferentes profundidades e evitando erros por variação de tamanho de referência. Testes experimentais mostraram alta precisão, com erro médio de 1,45 km/h, sendo eficaz para múltiplos alvos em ambientes dinâmicos.
R. R. Pai M. Dozza	Is e-cycling safer than e-scootering? Comparing injury risk across Europe when vehicle-type, location, exposure, usage, and ownership are controlled	2025	O estudo comparou sinistros de <i>e-scooters</i> e bicicletas elétricas em sete cidades europeias, controlando fatores como localização, uso, posse e exposição. Os resultados mostraram que ciclistas elétricos apresentaram taxas de lesão mais altas, e o risco de sinistros foi 2,5 a 10 vezes menor para usuários de <i>e-scooters</i> . A pesquisa sugere que incorporar tecnologias como <i>geofencing</i> e métricas de exposição por GPS é importante para avaliações de segurança e planejamento urbano de micromobilidade.
L. Skaug M. Nojournian	A Multimodal Artificial Intelligence Framework for Intelligent Geospatial Data Validation and Correction	2025	O estudo apresenta um sistema de validação e correção de dados geoespaciais usando IA multimodal, integrando coordenadas GPS, diagramas de sinistros e textos narrativos. Aplicado a 5.000 relatórios de sinistros, o método identifica registros com discrepâncias de

Autor	Título	Ano	Resumo
			localização, corrigindo cerca de 20% dos casos. A abordagem combina inteligência artificial avançada e dados geoespaciais abertos, oferecendo base para sistemas de roteamento de veículos autônomos e gestão automatizada de infraestrutura.
G. Arce-Cocha D. Romero-Berrosipi C. Avalos-Levano S. Ramos-Cosi	Design of Machine Learning-Based Software for Transportation Optimization and Accident Reduction	2025	O estudo apresenta o design conceitual de um aplicativo baseado em aprendizado de máquina para otimizar rotas, melhorar a mobilidade urbana e reduzir sinistros. Utilizando dados em tempo real de sensores, câmeras e GPS, o sistema prevê padrões de tráfego e gera rotas mais eficientes. Funcionalidades adicionais incluem avaliação do comportamento do motorista e painel administrativo, visando maior segurança viária e eficiência urbana.
S. A. Beigi B. B. Park	Impact of Critical Situations on Autonomous Vehicles and Strategies for Improvement	2025	O artigo revisa situações críticas enfrentadas por veículos autônomos, incluindo condições climáticas adversas, fatores ambientais e problemas de infraestrutura, que afetam sensores e navegação. Avalia tecnologias, fusão de sensores e algoritmos adaptativos para melhorar a robustez e confiabilidade dos VAs. Conclui que avanços em infraestrutura dinâmica, sensores adaptativos e validação em ambientes reais são essenciais para superar desafios e aumentar a segurança dos veículos autônomos.
E. Puzio W. Drożdż M. Kolon	The Role of Intelligent Transport Systems and Smart Technologies in Urban Traffic Management in Polish Smart Cities	2025	O artigo analisa soluções baseadas em IA e IoT para gestão inteligente do tráfego em sete cidades polonesas, avaliando impactos sobre congestionamento, emissões, segurança e eficiência energética. Sistemas como semáforos dinâmicos, travessias inteligentes e previsão de sinistros mostraram melhorar mobilidade e segurança urbana. Propostas adicionais incluem integração com GPS, dados comportamentais e gestão dinâmica de prioridades para emergências e transporte público.

Autor	Título	Ano	Resumo
L. Querfurth H. Rehborn B. Bernhardt Y. Guan W. Huang S. Hoffmann	Crash localization and traffic impact assessment via spatio-temporal analysis of connected vehicle data	2025	O estudo apresenta um método de detecção de sinistros em rodovias usando apenas dados de GPS de frotas de veículos conectados, capaz de identificar rapidamente o surgimento e a resolução de congestionamentos. O algoritmo determina a localização exata dos sinistros, classifica padrões de tráfego e supera métodos tradicionais, detectando sinistros 7:40 minutos mais cedo e resoluções 5:59 minutos mais rápido. Testado em conjuntos de dados dos EUA, Alemanha e Reino Unido, alcançou um F1-score de 82,45%, mostrando eficácia em diferentes regiões e taxas de penetração de veículos conectados.
A. Y. Demeke M. Y. Heravi I. S. Dola Y. Jang C. Le I. Jeong Z. Lin D. Wang	Advancing Highway Work Zone Safety: A Comprehensive Review of Sensor Technologies for Intrusion and Proximity Hazards	2025	O artigo realiza uma revisão sistemática sobre o uso de tecnologias de sensores (como GPS, radar, laser e RFID) para melhorar a segurança em zonas de obras rodoviárias, prevenindo invasões e riscos de proximidade. A pesquisa avalia as tecnologias quanto à precisão, alcance, custo e aplicabilidade nesses ambientes e conclui que, embora promissoras, sua implementação eficaz requer integração, baixo custo, usabilidade e apoio regulatório.
A. J. Leslie R. J. Kiefer S. H. Owen C. A. Flannagan	Examination of General Motors Super Cruise system field effects using state police report crash data	2025	O estudo analisou o impacto do sistema Super Cruise da General Motors, classificado como nível 2 de automação veicular, na redução de sinistros por saída de faixa e colisões traseiras. A pesquisa envolveu mais de 131 mil veículos e identificou 415 sinistros em rodovias compatíveis com o sistema, comparando-os a veículos equipados com outras tecnologias de assistência ao motorista. Os resultados indicaram que não houve diferença significativa no risco de sinistros, embora o avanço e a ampliação do uso desses sistemas possam contribuir para análises mais robustas e resultados mais expressivos no futuro.
X. Yu	The application of GIS technology in accident prevention	2025	Este estudo investigou como a integração de Sistemas de Informação Geográfica (GIS) com sistemas inteligentes de gerenciamento de tráfego

Autor	Título	Ano	Resumo
	and management in intelligent traffic management systems		pode contribuir para a prevenção de sinistros e melhoria do fluxo viário. Os resultados mostraram que o sistema foi capaz de prever sinistros com quase 90% de precisão, reduzir o tempo de resposta em 42% e diminuir tanto sinistros secundários quanto congestionamentos. Dessa forma, a pesquisa evidencia que a aplicação dessas tecnologias não só aumenta a segurança no trânsito, como também oferece <i>insights</i> importantes para o desenvolvimento de cidades inteligentes mais eficientes e seguras.
S. A. Lakshmanan V. K. Jnana K. L. Pavan N. Devanathan	Real-Time Alcohol Detection and Engine Immobilization System using GPS for Road Safety Applications	2025	Este estudo apresenta um sistema inteligente de bloqueio do motor que detecta em tempo real a presença de álcool no motorista e nos passageiros, utilizando sensor MQ3 e GPS. Quando o motorista está alcoolizado, o sistema imobiliza o veículo, envia alertas e fornece a localização em tempo real, prevenindo sinistros. Dessa forma, a pesquisa evidencia uma solução eficaz para aumentar a segurança viária e reduzir os riscos associados à condução sob efeito de álcool.
M. M Ali Z. A. Mohammed M. Mohammed U. U. M Mohammed	Deep Learning-Based Accident Detection and Ambulance Notification System for Saving Lives on Roads	2025	Este estudo propõe um sistema em tempo real de detecção de sinistros e notificação de ambulâncias, utilizando YOLOv8 e OpenPose para identificar vítimas e analisar sua condição. O sistema envia alertas para ambulâncias próximas via GPS, permitindo resposta rápida a emergências e os resultados mostram alta precisão e rapidez, indicando potencial para reduzir mortes em sinistros de trânsito.
K. Akash R. C. Lekshmi P. K. Preetha	Intelligent Speed Regulation System Using CNN Based Traffic Sign Recognition with Integrated CAN Communication	2025	O estudo propõe um sistema inteligente de controle de velocidade para veículos, usando CNN para classificação de sinais de trânsito e comunicação CAN para regular a velocidade. O modelo supera limitações de sistemas baseados em GPS, sendo rápido e eficiente, mesmo em áreas com cobertura de rede limitada. Os resultados mostram alta precisão e baixa latência,

Autor	Título	Ano	Resumo
			permitindo que o regulador opere de forma eficaz e segura para prevenir sinistros.
R. V. S. Praveen S. Hundekari P. Parida T. Mittal A. Sehgal M. Bhavana	Autonomous Vehicle Navigation Systems: Machine Learning for Real-Time Traffic Prediction	2025	Os sistemas de navegação para veículos autônomos usam aprendizado de máquina para prever o tráfego em tempo real e otimizar rotas, evitando congestionamentos. Modelos como deep learning e SVM analisam dados de GPS, sensores e histórico para permitir ajustes adaptativos durante a viagem. Os resultados mostram maior segurança, eficiência e redução do tempo de deslocamento, superando métodos convencionais e destacando o potencial do aprendizado de máquina para futuras otimizações.
R. Wang G. Cao	Cooperative Traffic Map Construction in Vehicular Networks	2025	A percepção cooperativa permite que veículos compartilhem dados para criar um mapa de tráfego abrangente, melhorando a segurança e a tomada de decisões. O sistema utiliza imagens de profundidade e um algoritmo de correspondência de objetos em tempo real para reduzir o consumo de banda e aumentar a precisão da localização. Os resultados mostram redução significativa de largura de banda e precisão de localização em nível submetro, garantindo eficiência e confiabilidade no mapeamento do tráfego.
J. M. Nandhini K. Anuratha P. Sharmila S. Suganthi G. R. S. Swetha	Safety Vehicle Warning System Using the Internet of Things	2025	O estudo apresenta um sistema de alerta de sinistros baseado em IoT, usando sensor ADXL e GPS NEO-6M para detectar colisões e localizar rapidamente o sinistro. Os alertas são enviados via mensagem e chamada GSM e os dados são armazenados na nuvem para acesso imediato por autoridades ou seguradoras. O sistema agiliza o socorro médico, fornece informações em tempo real e contribui para reduzir a gravidade dos sinistros e aumentar a segurança viária.
N. Sumathi G. Navamani	Real-Time Traffic Optimization: A Graph-based Reinforcement Learning Framework	2025	Sistemas modernos de transporte utilizam MARL e HGNNs para gerenciar o tráfego de forma dinâmica, ajustando semáforos e rotas em tempo real e otimizando redes urbanas complexas. As HGNNs permitem prever padrões de

Autor	Título	Ano	Resumo
			congestionamento e, combinadas com modelos temporais, viabilizam redirecionamento proativo de veículos. A integração desses algoritmos promove mobilidade urbana sustentável, redução de emissões e melhora significativa do fluxo de trânsito, formando a base para sistemas inteligentes futuros.

Fonte: Autora

3. METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa foi organizada da seguinte forma:

Figura 4: Fases seguidas pelo método proposto



Fonte: Autora

3.1. Levantamento de dados

Para alcançar os objetivos apresentados no item 1.2, foi realizado o levantamento dos registros dos sinistros de trânsito de Belo Horizonte. Os dados foram obtidos no portal de dados abertos da Prefeitura de Belo Horizonte, abrangendo períodos anteriores e posteriores à popularização dos aplicativos de navegação por GPS. Essa seleção temporal teve como finalidade avaliar a dispersão dos sinistros de trânsito em diferentes contextos de uso das tecnologias de navegação.

A seleção dos anos analisados buscou representar momentos distintos, de modo a permitir comparações entre cenários tecnológicos e sociais. Assim, foram considerados os seguintes períodos:

- 2012 e 2013: anos anteriores à utilização dos aplicativos de navegação;
- 2015 e 2017: anos iniciais da utilização desses aplicativos;
- 2019: período imediatamente anterior à pandemia de COVID-19;
- 2020: período durante a pandemia;
- 2022 e 2024: anos posteriores à pandemia, representando a consolidação do uso dos aplicativos.

Essa escolha possibilitou observar variações nos padrões de deslocamento e na dispersão dos sinistros de trânsito em diferentes contextos históricos e tecnológicos.

Ao todo, foram obtidos 104.328 registros brutos, que constituíram a base inicial para o tratamento e análise subsequentes.

Também foram utilizados os dados referentes à frota de veículos fornecidos pela Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN), abrangendo o período de 2012 a 2024. Esses dados contemplam o total de veículos registrados no município por ano calendário, permitindo avaliar a evolução da frota ao longo do tempo e verificar se houve crescimento significativo no número de veículos em circulação na cidade de Belo Horizonte.

A análise da frota é fundamental para compreender a relação entre o aumento do número de veículos e a ocorrência de sinistros de trânsito, uma vez que a expansão da frota pode implicar maior pressão sobre a infraestrutura viária, intensificação do tráfego e, conseqüentemente, maior exposição ao risco de sinistros.

3.2. Tratamento de dados

Esta etapa teve como finalidade assegurar a consistência e a confiabilidade dos dados utilizados. Foram identificados e corrigidos registros incoerentes, como coordenadas fora dos limites geográficos do município ou informações incompletas. Após esse processo de tratamento, as análises foram realizadas exclusivamente com base nos dados validados. A Figura 5 a seguir apresenta exemplos de registros descartados em razão da ausência de coordenadas geográficas.

Nome do campo	Descrição do campo
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 sinistro é sinalizado.
VELOCIDADE_PERMITIDA	Velocidade máxima permitida para o local do sinistro. Exemplo: 40, 60 Km.
COORDENADA_X	Coordenada x do endereço referenciado no Boletim de Ocorrência (UTM - Sirgas 2000 fuso 23S a partir de 2016 e UTM - SAD 69 fuso 23S até 2015).
COORDENADA_Y	Coordenada y do endereço referenciado no Boletim de Ocorrência (UTM - Sirgas 2000 fuso 23S a partir de 2016 e UTM - SAD 69 fuso 23S até 2015).
HORA_INFORMADA	Indicador de hora informada.
INDICADOR_FATALIDADE	Indicada se no sinistro 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.
DESCRIÇÃO_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.
DESCRIÇÃO_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: Autora, adaptado do dicionário dos registros de sinistros disponibilizados pela PBH

Ao todo, foram considerados 93.013 registros válidos, sendo que a principal causa de desconconsideração foi a ausência de coordenadas geográficas, o que impossibilitou a localização espacial dos sinistros. Assim, 10,8% dos registros foram desconconsiderados, conforme apresentado no Quadro 4.

De acordo com o quadro, observa-se que o número de sinistros apresentou redução gradual entre os anos de 2012 e 2020. A queda mais acentuada em 2020 pode estar relacionada à diminuição da circulação de veículos, decorrente das medidas de isolamento social e do regime de trabalho remoto adotado por diversos setores durante a pandemia de COVID-19. Após esse período, nota-se um aumento progressivo no número de sinistros entre 2020 e 2024.

Cabe ressaltar que, no período analisado, foram identificadas políticas públicas voltadas à redução de sinistros de trânsito em Belo Horizonte. Entre elas, destaca-se a Política de Segurança no Trânsito de Belo Horizonte (2014–2030), que tem como objetivo reduzir em 50% o índice de mortos por 100 mil habitantes até 2030, tomando como referência o ano de 2014. Essa política possui foco nos pedestres e

motociclistas, considerados os grupos mais vulneráveis, e contempla ações como: (i) implantação de sistemas de monitoramento e relatórios anuais de sinistros; (ii) parcerias com órgãos estaduais e federais para padronização e tratamento de dados; e (iii) utilização de tecnologias de informação para análise georreferenciada dos sinistros.

Assim, observa-se que as políticas públicas implementadas podem ter contribuído para a redução dos sinistros de trânsito até 2020. A partir de 2020, verifica-se uma reversão da tendência, com aumento do número de sinistros, mesmo diante da continuidade das campanhas e medidas de prevenção.

Quadro 4: Total de registros desconsiderados

Ano	Nº de sinistros	Nº de registros desconsiderados	% desconsiderado
2012	15.261	2.013	13,2%
2013	14.145	1.816	12,8%
2015	13.299	2.276	17,1%
2017	12.243	1.148	9,4%
2019	13.342	1.452	10,9%
2020	10.624	963	9,1%
2022	12.148	942	7,8%
2024	13.266	705	5,3%
Total	104.328	11.315	10,8%

Fonte: Autora

3.3. Análise espacial

A partir dos dados devidamente tratados, foi utilizado o *software* QGIS para a construção dos mapas temáticos. Para cada ano em análise, inseriu-se uma camada de texto delimitado contendo os registros válidos, exportados em formato .csv e convertidos em arquivos de pontos. Com o intuito de minimizar erros no processo, os arquivos foram salvos no formato *GeoPackage*, próprio do QGIS, garantindo maior compatibilidade e integridade dos dados.

Os registros referentes aos anos de 2012, 2013 e 2015 foram projetados no sistema SAD 69/UTM 23S, enquanto os de 2017, 2019, 2020, 2022 e 2024 foram projetados em SIRGAS 2000/UTM zone 23S, em razão da adoção desse sistema pela Polícia Militar de Minas Gerais a partir de 2016. Essa padronização assegurou a comparabilidade espacial entre os diferentes períodos analisados.

Na etapa seguinte, foi utilizada a ferramenta Mapa de Calor (Densidade de Kernel), disponível no complemento “Processar” do QGIS. O método de densidade de Kernel consiste em uma técnica estatística de suavização espacial, que calcula a intensidade de eventos em determinada área a partir da proximidade entre os pontos. Essa técnica permite identificar regiões de maior concentração de sinistros, representadas por áreas de maior densidade, e regiões de menor ocorrência, destacando padrões espaciais que não seriam perceptíveis apenas pela visualização dos pontos isolados.

Para todos os anos analisados, foram adotados parâmetros uniformes: raio de 500 metros, resolução de 5 pixels, mesmo nível de zoom e valor máximo de 30 para a banda. A padronização desses critérios teve como finalidade garantir a comparabilidade entre os mapas gerados, possibilitando a análise das diferenças na dispersão dos sinistros ao longo do tempo.

3.4. Análise crítica dos resultados

Por fim, a análise concentrou-se na verificação da dispersão dos sinistros de trânsito em Belo Horizonte, buscando identificar se houve alterações significativas após a popularização dos aplicativos de navegação por GPS. Foram observados os padrões de concentração espacial dos sinistros, bem como possíveis deslocamentos dessas ocorrências entre vias arteriais e locais, o que poderia indicar mudanças na escolha das rotas pelos motoristas.

Os mapas de densidade de Kernel permitiram comparar a intensidade e a distribuição dos sinistros ao longo dos anos selecionados, evidenciando áreas críticas e possíveis variações na localização dos sinistros. Essa abordagem possibilitou avaliar não apenas a quantidade de registros, mas também sua distribuição geográfica, fornecendo subsídios para compreender a relação entre o uso de tecnologias de navegação e os padrões de mobilidade urbana.

4. RESULTADOS

Neste capítulo, foram apresentados os resultados obtidos a partir do processamento dos 93.013 registros de sinistros de trânsito em Belo Horizonte. A análise buscou verificar a hipótese central deste estudo: se a utilização dos aplicativos de navegação por GPS alterou a dinâmica espacial desses eventos, promovendo uma dispersão dos sinistros do sistema arterial para vias de menor hierarquia.

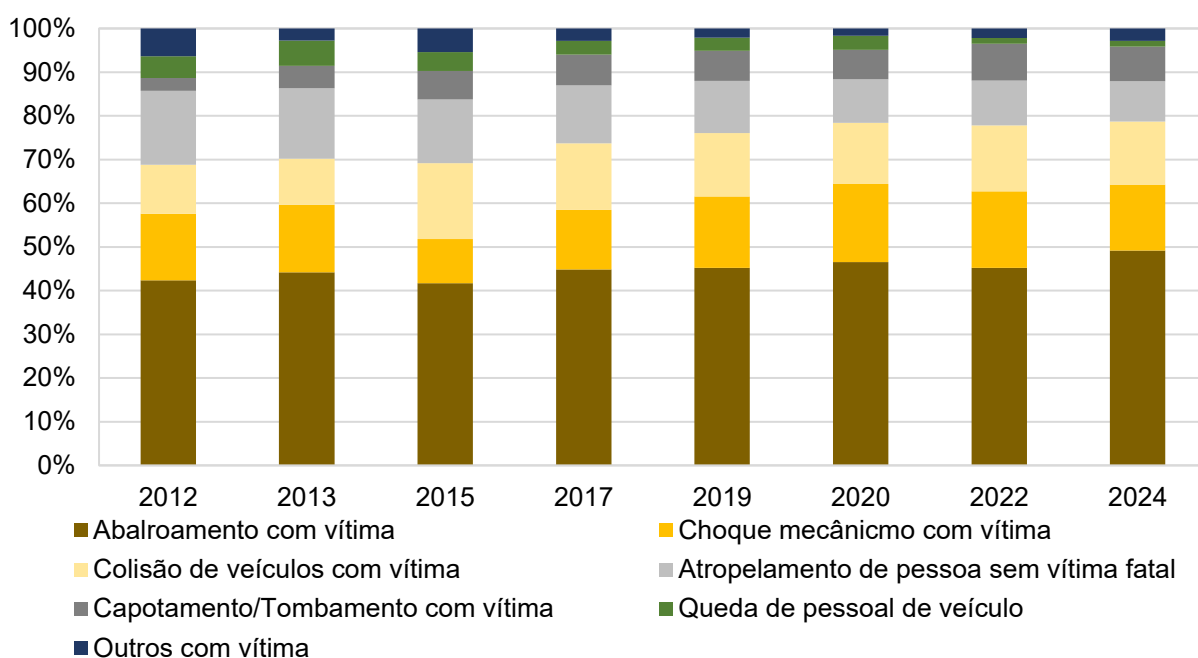
4.1. Tipo de sinistro identificado por ano

A Figura 6 apresenta a distribuição dos tipos de sinistros por ano, permitindo identificar os principais padrões em Belo Horizonte e compreender melhor a dinâmica dos sinistros de trânsito na cidade. Observa-se que o abalroamento com vítima é o tipo mais recorrente, variando de 42% em 2012 a 49% em 2024. Esse tipo de ocorrência, revela-se como o principal responsável pela maior parte dos registros ao longo do período analisado. Apesar de sua predominância, não se verifica uma tendência linear de crescimento ou redução, mas sim oscilações que refletem momentos de aumento e diminuição da representatividade desse tipo de sinistro. Essa instabilidade pode estar relacionada a fatores diversos, como mudanças na infraestrutura viária, intensificação da fiscalização em determinados anos ou campanhas educativas voltadas para condutores, que podem ter surtido efeitos temporários.

O atropelamento de pessoas sem vítima fatal também se destaca como um tipo de sinistro significativo e apresenta uma trajetória de redução contínua ao longo dos anos. Em 2012, esse tipo de ocorrência representava 17% dos registros, enquanto em 2024 passou a corresponder a apenas 9%. Essa queda sistemática sugere um impacto positivo das políticas públicas voltadas à proteção dos pedestres, especialmente da Política de Segurança no Trânsito de Belo Horizonte (2014–2030), que tem como foco os grupos mais vulneráveis. A redução pode estar associada à melhoria da sinalização, à implantação de faixas de pedestres em pontos estratégicos, ao aumento da fiscalização em áreas de grande circulação de pessoas e à adoção de medidas de conscientização voltadas para motoristas e pedestres. Esse resultado reforça a importância de políticas integradas e contínuas, capazes de gerar efeitos duradouros na redução de riscos para os usuários mais expostos do sistema viário.

Cabe destacar que o atropelamento de pessoa com vítima fatal apresenta baixa representatividade, não ultrapassando 0,5% dos sinistros ao longo dos anos. Por essa razão, foi agrupado na categoria “outros com vítima”, juntamente com ocorrências menos frequentes, como queda de veículo com vítima, atropelamento de animal com vítima, queda e/ou vazamento de carga de veículo com vítima e capotamento/tombamento sem vítima. Embora pouco expressivos em termos percentuais, esses tipos de sinistros não devem ser negligenciados, pois envolvem situações de risco que podem resultar em consequências graves para os envolvidos.

Figura 6: Tipo de sinistro identificado por ano



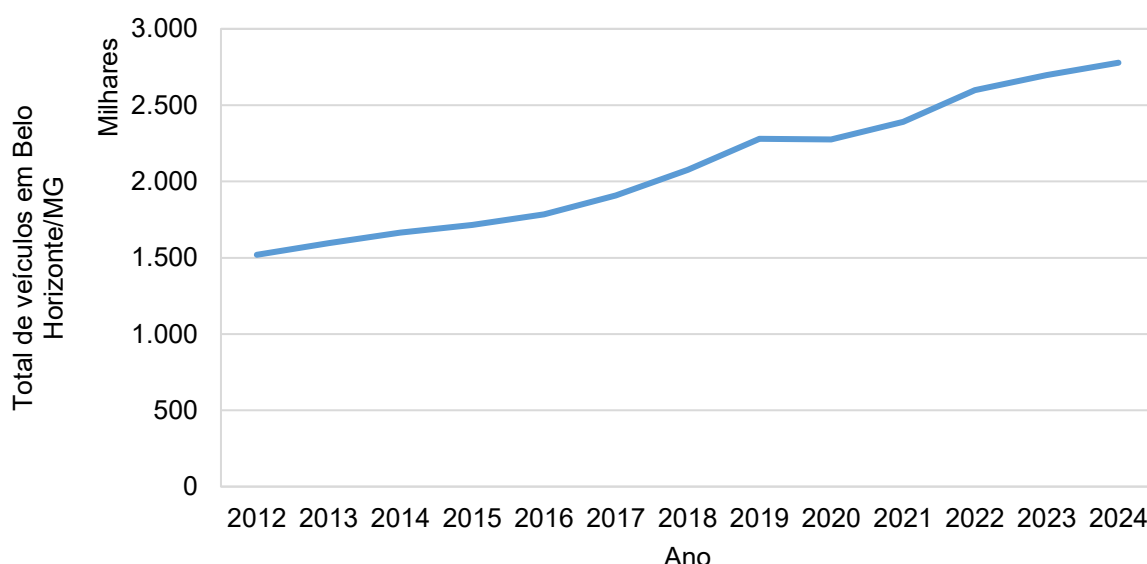
Fonte: Autora

4.2. Evolução da frota de veículos

Em relação à evolução da frota de veículos em Belo Horizonte, observa-se que, com exceção do ano de 2020 — quando ocorreu um decréscimo de 0,2% no total de veículos registrados, possivelmente associado aos efeitos da pandemia de COVID-19 e à retração econômica — todos os demais anos apresentaram crescimento contínuo. No período de 2012 a 2024, a frota registrou um CAGR (Taxa de Crescimento Anual Composta) de 5,2%, evidenciando uma expansão significativa do número de veículos em circulação na cidade, conforme apresentado na Figura 7.

Por outro lado, o número de sinistros apresentou comportamento distinto. Entre 2012 e 2024, o CAGR dos sinistros foi de -0,4%, indicando uma leve tendência de redução ao longo do período. Essa discrepância entre o crescimento da frota e a diminuição dos sinistros sugere que não há uma relação direta entre o aumento do número de veículos e a ocorrência de sinistros de trânsito em Belo Horizonte. Em termos teóricos, seria esperado que uma frota maior implicasse maior probabilidade de sinistros, devido ao aumento da exposição ao risco e à maior densidade de tráfego. No entanto, os dados demonstram que outros fatores podem ter desempenhado papel relevante na contenção do crescimento dos sinistros.

Figura 7: Evolução da frota de veículos



Fonte: Autora

4.3. Caracterização da malha viária e divisão administrativa

A Figura 8 apresenta as principais vias do município de Belo Horizonte, composto por eixos que concentram o maior volume de tráfego e conectam os principais centros de atividade da cidade. Entre as vias estruturantes, destacam-se as avenidas Amazonas, do Contorno, Antônio Carlos e Cristiano Machado, que funcionam como corredores de alta mobilidade, sendo integrantes do sistema arterial principal, conforme descrito no item de Classificação viária.

Já o sistema local, representado pelas vias residenciais, possui baixa mobilidade e alta acessibilidade, não sendo adequado para o tráfego de passagem que os aplicativos de navegação frequentemente sugerem em rotas otimizadas.

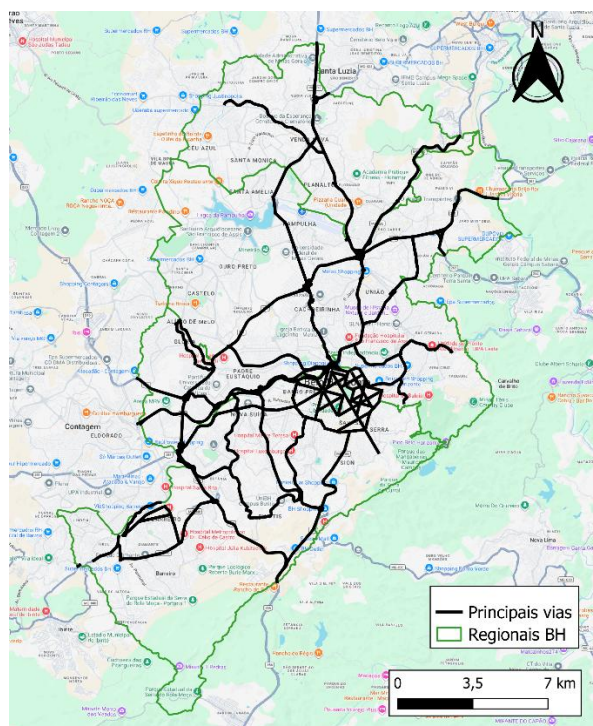
É importante destacar que os registros de sinistros de trânsito analisados até 2024 não incluem o Anel Rodoviário, uma vez que este trecho estava sob jurisdição do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e da Polícia Rodoviária Federal (PRF). Os dados oficiais disponibilizados pela Prefeitura de Belo Horizonte (PBH) concentram-se exclusivamente nas vias municipais. A partir de junho de 2025, com a municipalização do Anel Rodoviário, a PBH passou a integrar os registros dessa via em seus sistemas. Por esse motivo, o presente estudo considerou dados até 2024, evitando interferências decorrentes da inclusão de uma nova via de grande porte no conjunto analisado.

Este mapa tem como finalidade apoiar a interpretação dos resultados da análise espacial, permitindo verificar se os sinistros de trânsito se concentram predominantemente nessas vias arteriais ou se apresentam dispersão significativa em áreas do entorno. Essa avaliação fornece subsídios para compreender a relação entre o fluxo veicular, a escolha das rotas e a distribuição dos sinistros, contribuindo para a discussão sobre padrões de mobilidade e segurança viária no município.

A Figura 9 apresenta as regionais administrativas de Belo Horizonte, recurso que facilita a localização das vias citadas ao longo da análise dos sinistros de trânsito. As regionais correspondem às divisões territoriais do município, criadas para descentralizar a gestão pública e aproximar os serviços da população. Cada regional possui características próprias, como densidade populacional, perfil socioeconômico e estrutura viária, o que influencia diretamente nos padrões de mobilidade e, consequentemente, na ocorrência de sinistros.

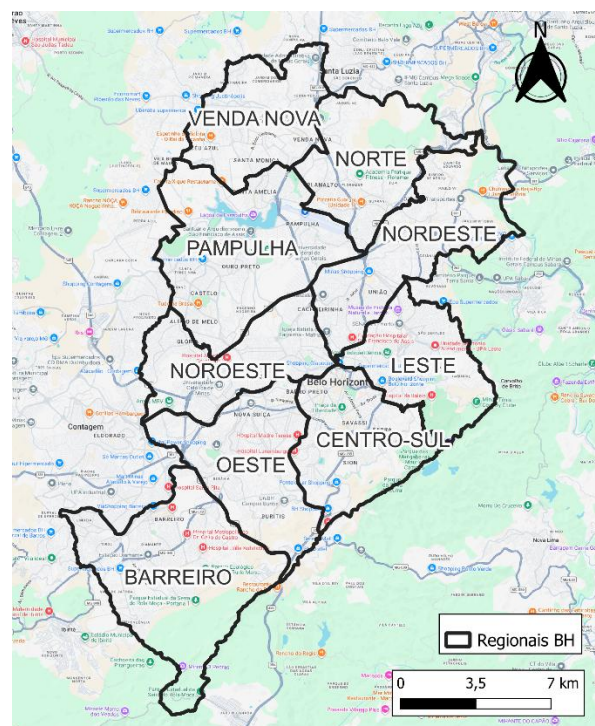
Belo Horizonte é organizada em nove regionais administrativas: Barreiro, Centro-Sul, Leste, Nordeste, Noroeste, Norte, Oeste, Pampulha e Venda Nova. Essa divisão permite compreender melhor a distribuição espacial dos sinistros, uma vez que cada regional concentra determinadas vias de maior relevância para o tráfego urbano. Por exemplo, a Regional Centro-Sul abriga a Avenida do Contorno e a Avenida Afonso Pena, que são eixos estruturantes da cidade e apresentam elevado fluxo veicular.

Figura 8: Principais vias de Belo Horizonte



Fonte: Autora

Figura 9: Regionais de Belo Horizonte

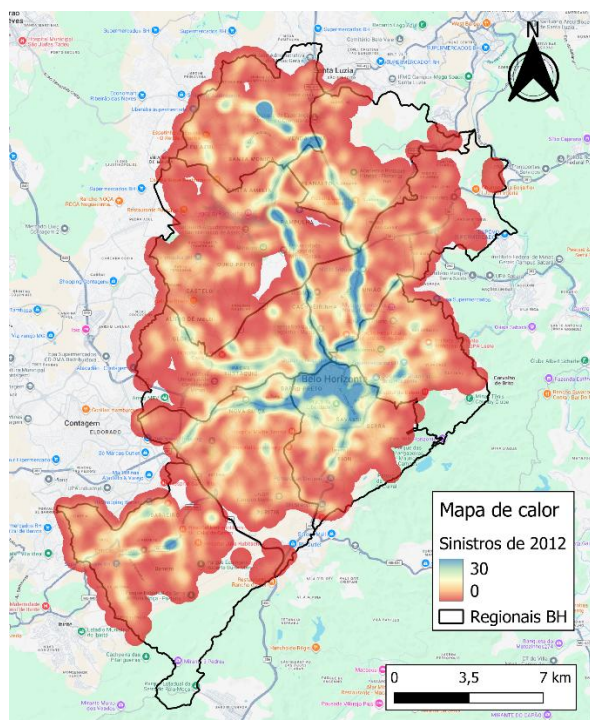


Fonte: Autora

4.4. Análise espacial – densidade de Kernel

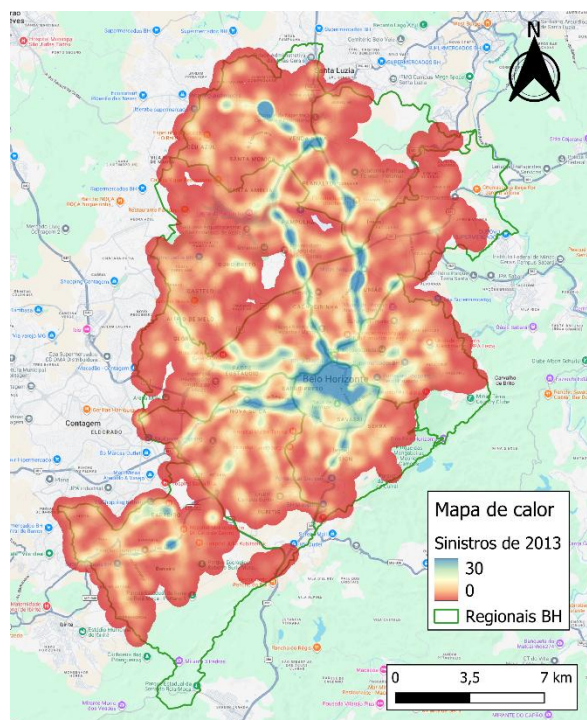
Dessa forma, apresentam-se a seguir os mapas de densidade de Kernel referentes aos anos de 2012, 2013, 2015, 2017, 2019, 2020, 2022 e 2024, elaborados conforme os parâmetros definidos no item 3.3. A utilização dessa técnica permitiu identificar áreas de maior concentração de sinistros de trânsito e comparar sua distribuição espacial ao longo dos diferentes períodos analisados.

Figura 10: Mapa de calor - 2012



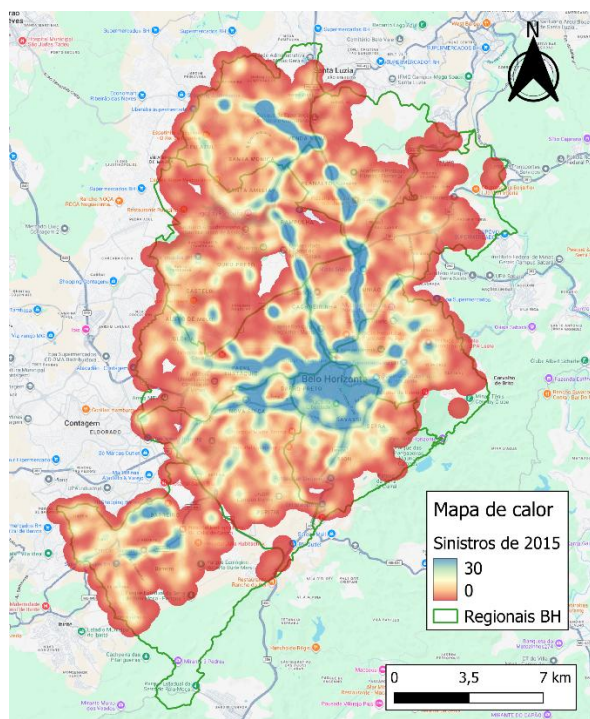
Fonte: Autora

Figura 11: Mapa de calor - 2013



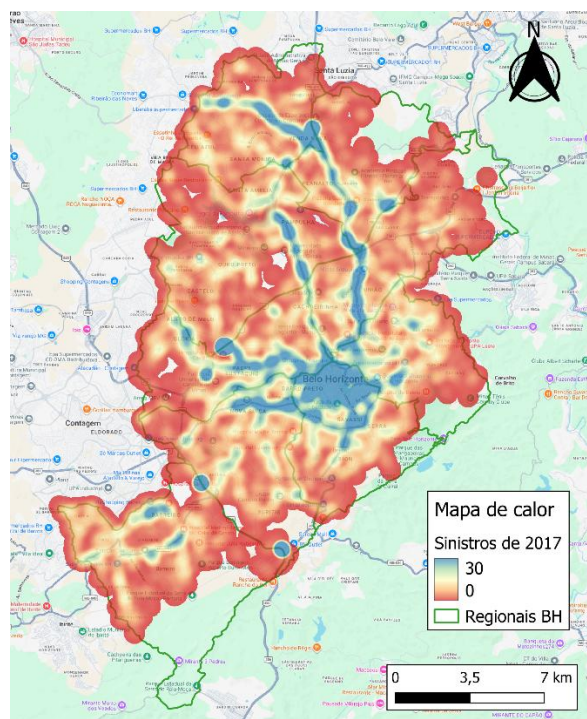
Fonte: Autora

Figura 12: Mapa de calor - 2015



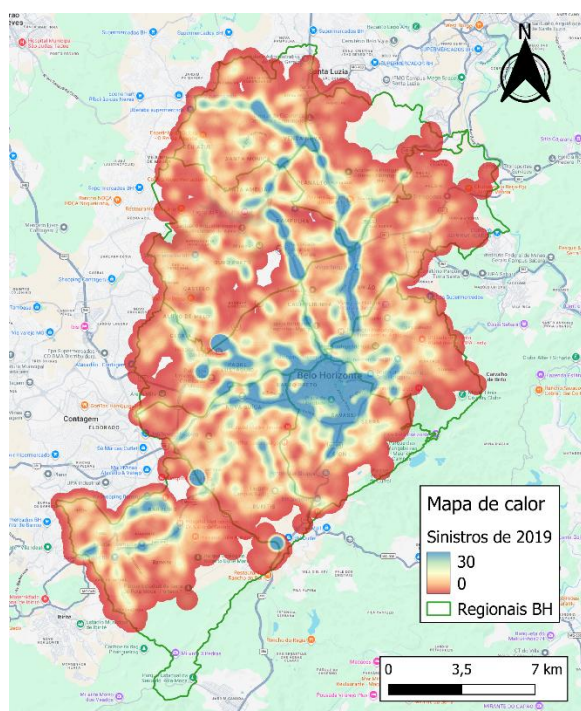
Fonte: Autora

Figura 13: Mapa de calor - 2017



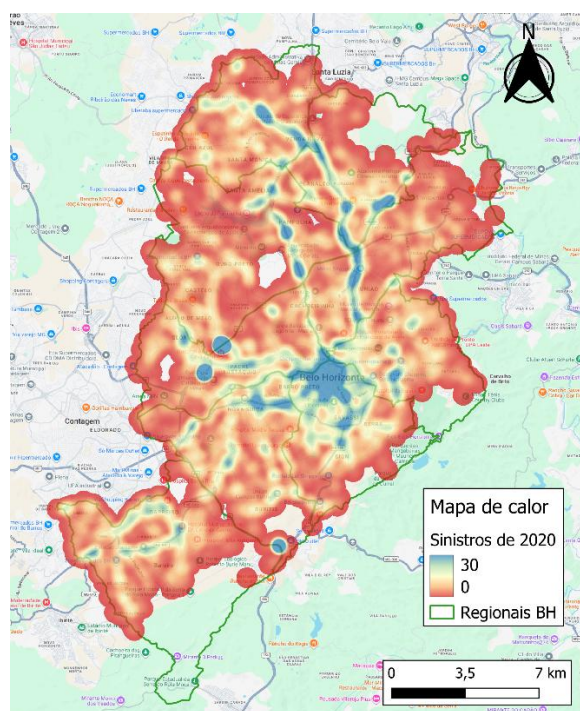
Fonte: Autora

Figura 14: Mapa de calor - 2019



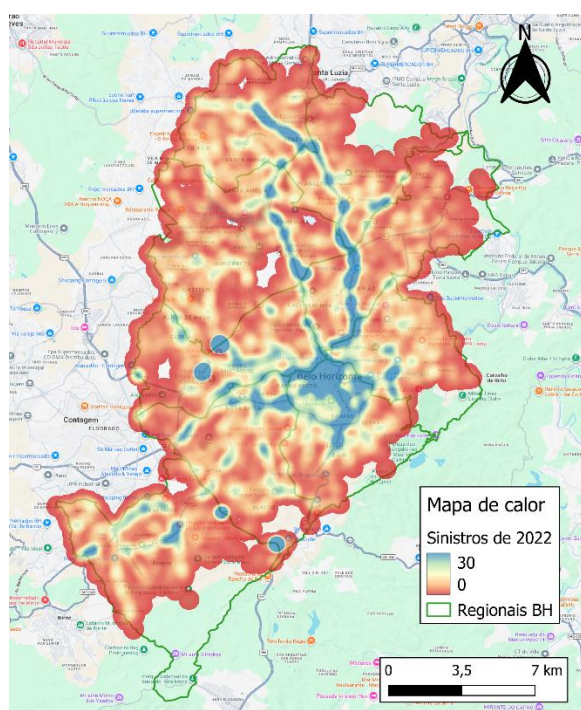
Fonte: Autora

Figura 15: Mapa de calor - 2020



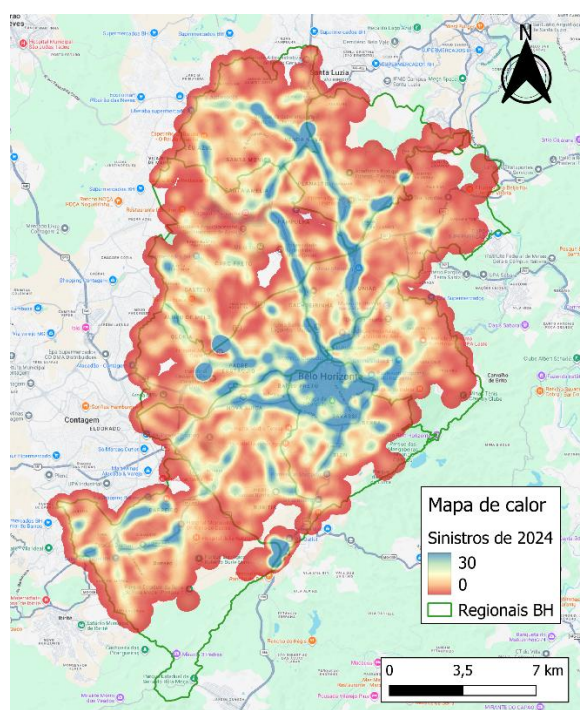
Fonte: Autora

Figura 16: Mapa de calor - 2022



Fonte: Autora

Figura 17: Mapa de calor - 2024



Fonte: Autora

A análise dos mapas de densidade de Kernel elaborados para os anos de 2012, 2013, 2015, 2017, 2019, 2020, 2022 e 2024 permite compreender a evolução da distribuição espacial dos sinistros de trânsito em Belo Horizonte. Os mapas evidenciam tanto a

permanência de áreas críticas em grandes corredores viários quanto a dispersão progressiva para vias secundárias, revelando mudanças nos padrões de deslocamento e na dinâmica da mobilidade urbana ao longo do período.

Nos anos de 2012 e 2013, os sinistros concentraram-se principalmente nas avenidas Amazonas, Dom Pedro II, Presidente Antônio Carlos e Cristiano Machado. Essas vias, integrantes do sistema arterial principal, apresentam elevado fluxo veicular e conectam regiões centrais a áreas periféricas, o que justifica sua maior incidência de sinistros. A Avenida do Contorno, planejada para delimitar a área central da cidade, também se destacou como ponto crítico, reforçando a vulnerabilidade das vias de maior hierarquia viária.

Em 2015, embora as avenidas principais continuassem em evidência, verificou-se aumento da dispersão dos sinistros para vias que não apresentavam sinistros ou possuíam pouca representatividade. Na Regional Nordeste, destacaram-se a Avenida Bernardo de Vasconcelos, Rua Passa-Vermelhos e a Rua Jacuí; na Regional Barreiro, a Avenida Perimetral e a Rua Dr. Cristiano Rezende; na Regional Noroeste, a Avenida Presidente Carlos Luz; e na Regional Pampulha, a Rua Sardenha e a Avenida Serrana. Em Venda Nova, a Rua Ministro Oliveira Salazar e a Rua Ajair de Almeida Costa passaram a registrar maior intensidade de sinistros. Além disso, a Avenida dos Andradas e a Avenida do Contorno apresentaram crescimento expressivo de registros, especialmente dentro da área central. Esse padrão indica que os sinistros passaram a ocorrer em áreas tanto de menor hierarquia viária, quanto em vias principais que não apresentavam uma quantidade relevante de sinistros anteriormente, ampliando o alcance espacial dos sinistros e sugerindo mudanças no comportamento dos motoristas.

Entre 2017 e 2019, a dispersão tornou-se ainda mais evidente, a Avenida Vilarinho, em Venda Nova, e a Avenida Afonso Vaz de Melo, no Barreiro, passaram a figurar maior concentração de sinistros. A intensificação dos registros nessas vias sugere que os aplicativos de navegação, cada vez mais utilizados nesse período, podem ter direcionado motoristas para rotas alternativas, que não necessariamente são vias locais, mas não possuíam grande impacto dos sinistros, contribuindo para a redistribuição deles, dentro do sistema viário como um todo. Esse fenômeno reforça

a hipótese de que a tecnologia de navegação influenciou os padrões de mobilidade urbana, ampliando a dispersão dos sinistros para além dos grandes corredores.

O ano de 2020 apresentou uma redução de 20,4% no número de sinistros em relação a 2019. Essa queda pode ser explicada pelo contexto da pandemia de COVID-19, em que medidas de isolamento social e a adoção do trabalho remoto em diversos setores reduziram significativamente a circulação de veículos. Ainda assim, mesmo com a redução geral, a dispersão dos sinistros permaneceu, com registros em vias que anteriormente apresentavam menor intensidade, como a Rua Agenor de Paula Estrela, na Regional Norte. Esse resultado demonstra que, embora o número absoluto de sinistros tenha diminuído, a distribuição espacial manteve-se ampla, indicando que os riscos não se restringem às vias principais.

Nos anos de 2022 e 2024, verificou-se retomada do crescimento dos sinistros, acompanhada de maior dispersão espacial. Além das avenidas já citadas, destacou-se a Avenida Presidente Juscelino Kubitschek, que passou a apresentar elevada concentração de sinistros, não observada em períodos anteriores. A presença dessa via entre os pontos críticos reforça a tendência de ampliação das áreas de maior risco, abrangendo tanto corredores principais quanto vias secundárias. Esse resultado evidencia que, mesmo após a pandemia, os sinistros voltaram a crescer e se dispersar, ampliando o desafio da gestão da segurança viária.

De forma geral, os resultados demonstram que, mesmo nos anos em que houve redução do número total de sinistros, como em 2020, ocorreu dispersão espacial dos sinistros. As principais avenidas da cidade, como Amazonas, Antônio Carlos, Cristiano Machado e do Contorno, mantiveram-se como pontos de maior concentração, mas novas áreas passaram a registrar intensidade crescente. Essa dinâmica reforça a necessidade de políticas públicas que considerem tanto os grandes corredores viários quanto as vias locais, uma vez que a dispersão amplia o desafio da gestão da segurança no trânsito em Belo Horizonte.

Cabe ressaltar que as principais vias da cidade continuam sendo pontos de concentração de tráfego, mesmo diante da expansão da frota de veículos em Belo Horizonte. Como discutido anteriormente, o aumento do número de veículos implica maior pressão sobre a infraestrutura viária, resultando em congestionamentos e

saturação das vias mais utilizadas. Essas vias, portanto, não deixaram de ser empregadas pela população, mas passaram a contar com rotas alternativas que oferecem tempos de deslocamento semelhantes nos horários de pico, conforme apresentado no item 4.5.

Esse fenômeno de dispersão do tráfego pode ser explicado pelo uso crescente de aplicativos de navegação por GPS, que, nos momentos de maior congestionamento, sugerem rotas alternativas com base no tempo estimado de percurso, conforme discutido no item 2.1.4. Essa prática contribui para redistribuir o fluxo de veículos entre diferentes vias, reduzindo parcialmente a sobrecarga das principais avenidas, ainda que estas permaneçam como eixos estruturantes da mobilidade urbana.

Tal dinâmica se justifica pelo fato de que as vias principais tendem a apresentar limites de velocidade regulamentada mais elevados, o que, em condições normais de tráfego, favorece a redução do tempo de deslocamento. Entretanto, em horários de pico, a elevada quantidade de veículos provoca significativa redução da velocidade média, alterando o cenário esperado e tornando as rotas alternativas mais competitivas em termos de tempo de percurso. Esse comportamento evidencia a complexidade da mobilidade urbana em grandes centros e reforça a importância de considerar tanto a infraestrutura viária quanto o papel das tecnologias de navegação na análise dos padrões de tráfego.

Além disso, a análise espacial evidencia que os padrões de sinistros estão diretamente relacionados ao fluxo veicular e às características das vias. As avenidas arteriais, por concentrarem grande volume de tráfego, continuam sendo os pontos mais críticos. Entretanto, a intensificação dos registros em vias secundárias demonstra que a segurança viária não pode ser tratada apenas nos grandes corredores, mas deve abranger toda a malha urbana. Essa constatação é fundamental para orientar políticas públicas mais abrangentes e eficazes, capazes de reduzir tanto a concentração quanto a dispersão dos sinistros.

4.5. Avaliação de rotas pelo Google Maps

A fim de verificar se os locais para os quais os sinistros de trânsito se dispersaram correspondem, de fato, às rotas sugeridas pelos aplicativos de navegação por GPS, foram avaliadas trajetórias propostas pelo Google Maps, considerando o horário de

saída às 17h. Esse período foi escolhido por representar o pico de congestionamento no sistema viário de Belo Horizonte, momento em que a saturação das vias principais é mais evidente e em que os aplicativos tendem a indicar alternativas de percurso com base no tempo estimado de deslocamento.

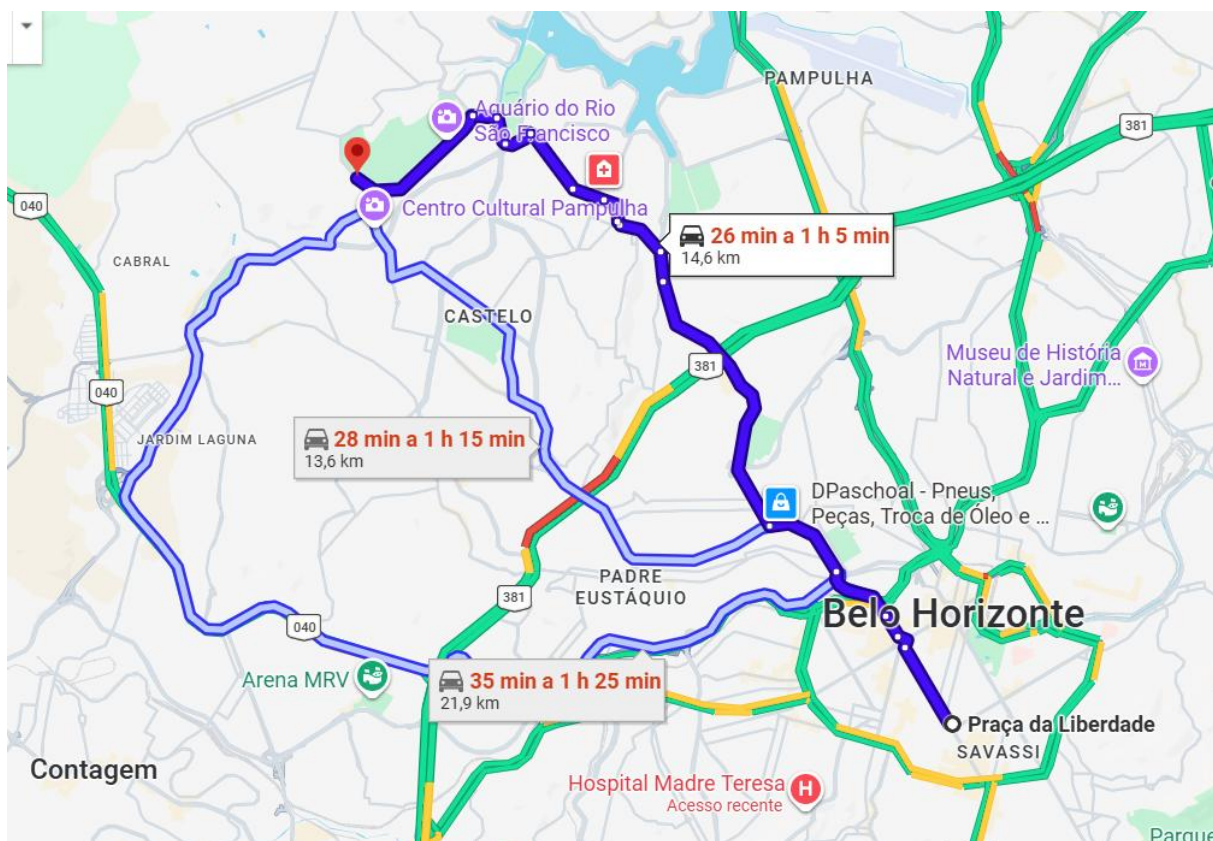
Para garantir que as rotas analisadas contemplassem a região central da cidade, foi definido como ponto de origem à Praça da Liberdade, localizada na Savassi. Essa escolha assegura que a viagem passe pela área delimitada pela Avenida do Contorno, reconhecida como um dos principais corredores de tráfego da capital e caracterizada por elevado fluxo de veículos nesse horário. A definição desse ponto de partida também se justifica pelo fato de que a região concentra um número expressivo de sinistros, conforme identificado nas análises anteriores, o que reforça sua relevância para o estudo.

A seleção dos destinos foi realizada com base em corredores viários que apresentaram aumento do número de sinistros em suas vias adjacentes. O objetivo foi avaliar se essas vias, que registraram crescimento na ocorrência de sinistros, são efetivamente sugeridas como rotas alternativas pelos aplicativos de navegação e, além disso, comparar a diferença de tempo entre os trajetos indicados. Dessa forma, buscou-se compreender se a dispersão dos sinistros pode estar associada ao uso de tecnologias de navegação, que direcionam os motoristas para rotas menos saturadas, mas que, ao mesmo tempo, podem apresentar maior risco de sinistros em função do aumento repentino do fluxo de veículos.

O primeiro trajeto analisado foi da Praça da Liberdade, localizada na Savassi, até o bairro Céu Azul, na Regional Venda Nova. A Figura 18 apresenta as rotas obtidas. Observa-se que o caminho preferencial sugerido pelo aplicativo é pela Avenida Antônio Carlos, principal corredor de ligação entre a região Centro-Sul e a Pampulha. Entretanto, o sistema também indica rotas alternativas, como a Avenida Presidente Carlos Luz, que passou a apresentar maior número de sinistros de trânsito após a popularização dos aplicativos de navegação.

Apesar da Avenida Antônio Carlos ser a rota prioritária, os tempos de viagem estimados variam entre 35 minutos e 1h20, enquanto pela Avenida Presidente Carlos Luz o tempo estimado é de 35 minutos a 1h25, ou seja, apenas cinco minutos de

Figura 19: Análise - Praça da Liberdade até Avenida Antônio Francisco Lisboa



Fonte: Google maps

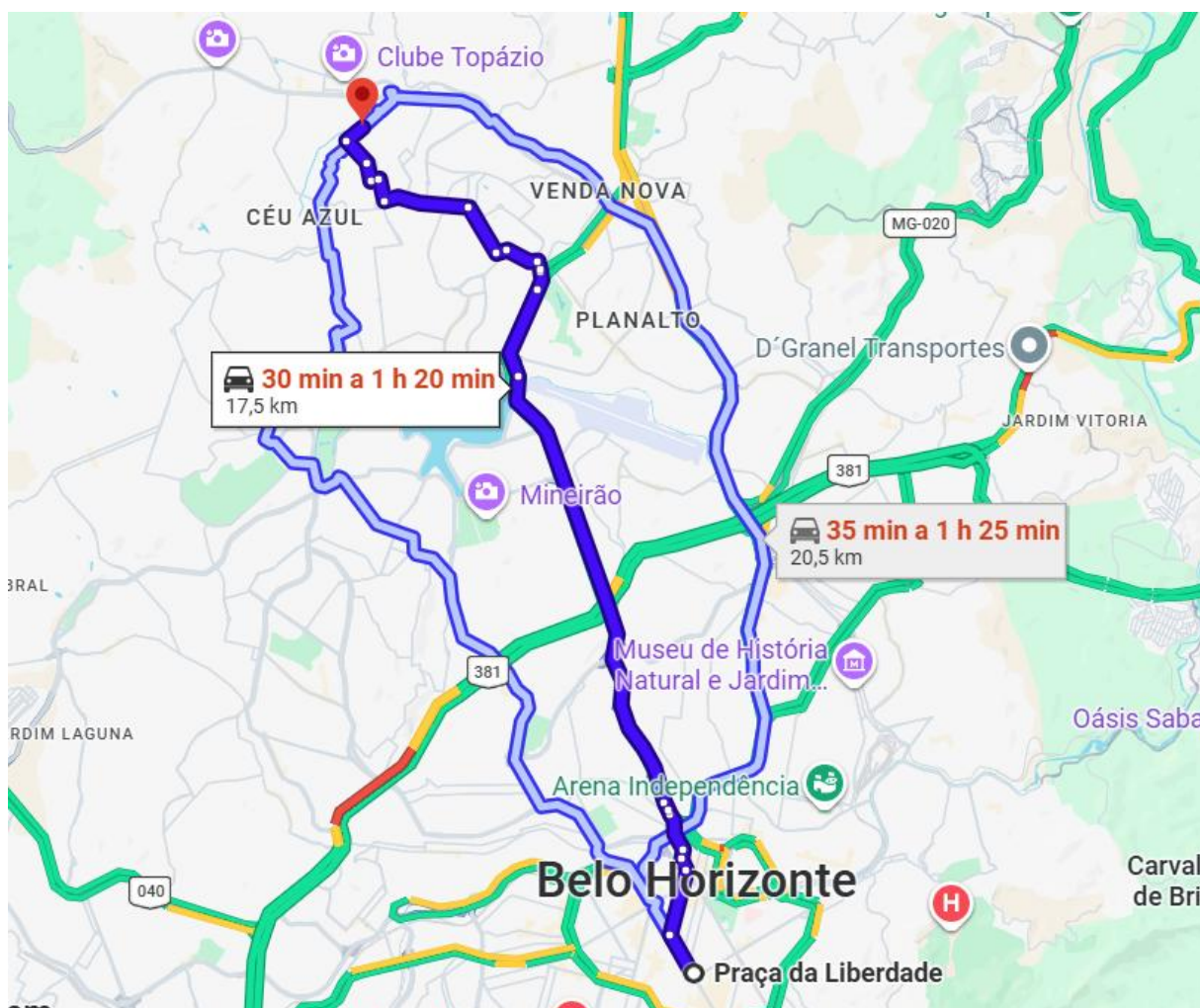
A Figura 20 apresenta a análise da rota entre a Praça da Liberdade, localizada na Savassi, e o bairro Piratininga, na Regional Venda Nova. Nesse caso, observa-se que a primeira opção de trajeto indicada pelo aplicativo passa por vias coletoras e locais, incluindo a Rua Ministro Oliveira Salazar, que apresentou aumento significativo de sinistros de trânsito nos últimos anos.

A segunda opção sugerida é pela Avenida Vilarinho, via arterial que também passou a figurar entre os pontos críticos de sinistros após a popularização dos aplicativos de navegação. Os tempos estimados de viagem variam entre 30 minutos e 1h20 pela Rua Ministro Oliveira Salazar e entre 35 minutos e 1h25 pela Avenida Vilarinho, demonstrando que a diferença entre as rotas é pequena e, portanto, ambas podem ser escolhidas pelos motoristas.

A terceira alternativa apresentada pelo aplicativo é pela Avenida Otacílio Negrão de Lima, que também utiliza diversas vias locais e coletoras, com tempos variando de 40 minutos a 1h30. Essa análise evidencia que, mesmo quando há uma rota principal mais estruturada, os aplicativos oferecem alternativas que atravessam vias locais,

com tempos de percurso semelhantes, o que contribui para a dispersão espacial dos sinistros.

Figura 20: Análise - Praça da Liberdade até o bairro Piratininga



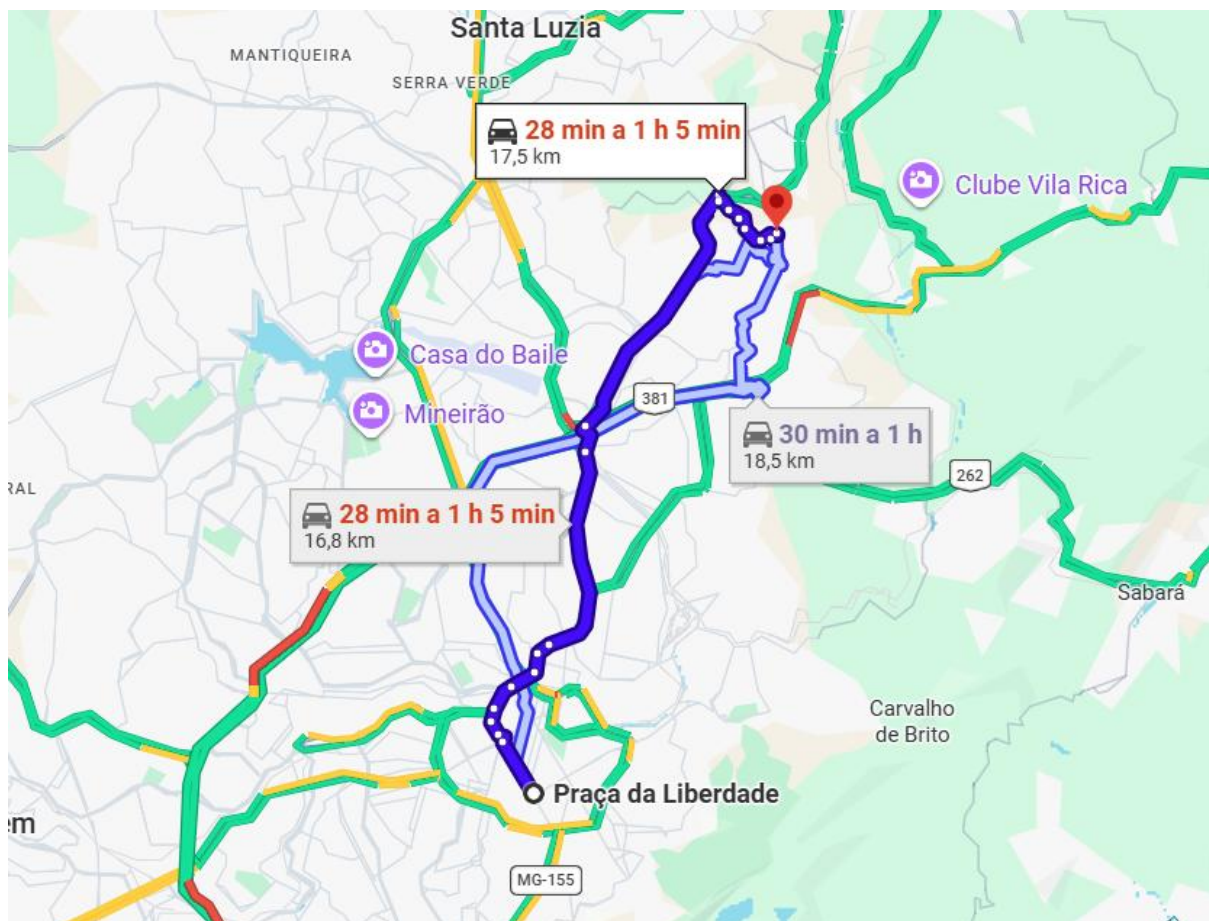
Fonte: Google maps

A figura a seguir apresenta as rotas indicadas pelo Google Maps para o trajeto entre a Praça da Liberdade, localizada na Savassi, e o bairro Capitão Eduardo, na Regional Nordeste. Nesse caso, observa-se que o segundo caminho sugerido pelo aplicativo passa pela Rua Passa-Vermelhos, via que não apresentava registros significativos de sinistros anteriormente, mas que passou a ser utilizada como alternativa de deslocamento após a popularização dos aplicativos de navegação.

Os tempos estimados de viagem variam entre 28 minutos e 1h05 para a rota principal e entre 30 minutos e 1h00 para a alternativa pela Rua Passa-Vermelhos. Essa diferença, que pode variar de 2 minutos a mais até 5 minutos a menos, demonstra que

os algoritmos de navegação consideram rotas secundárias como opções viáveis, mesmo quando o ganho de tempo é marginal.

Figura 21: Análise - Praça da Liberdade até o bairro Capitão Eduardo



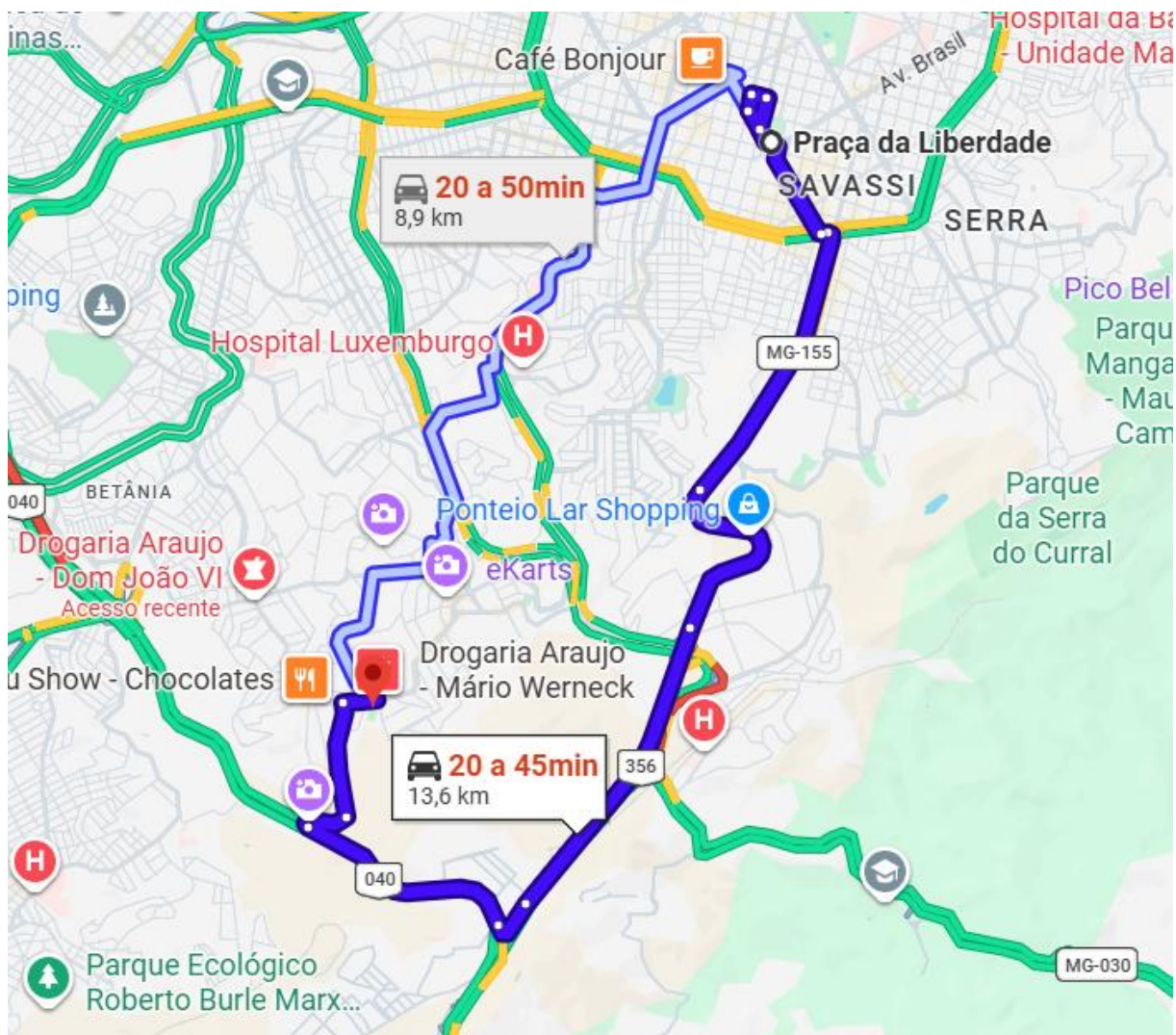
Fonte: Google maps

Observa-se na Figura 22 que, para o trajeto entre a Praça da Liberdade, localizada na Savassi, e o Parque Aggeio Pio Sobrinho, na Regional Oeste, o aplicativo Google Maps indica duas possibilidades principais. A primeira rota utiliza a MG-155, passando pela menor quantidade possível de vias locais e coletoras, o que demonstra a preferência por corredores mais estruturados e com maior capacidade de absorção de tráfego.

Em contrapartida, a segunda rota otimiza o percurso utilizando vias coletoras, que tendem a apresentar menor fluxo de veículos, mas que não possuem a mesma infraestrutura. Nesse caso, destaca-se a utilização da Rua Paulo Diniz Carneiro, que apresentou crescimento no número de sinistros de trânsito nos últimos anos.

Os tempos de viagem estimados para ambas as rotas são semelhantes: entre 20 e 45 minutos para a rota principal pela MG-155 e entre 20 e 50 minutos para a alternativa pela Rua Paulo Diniz Carneiro. Essa proximidade nos tempos reforça a atratividade das rotas secundárias, mesmo quando elas envolvem maior exposição ao risco em áreas residenciais e coletoras.

Figura 22: Análise - Praça da Liberdade até o Parque Aggeo Pio Sobrinho



Fonte: Google maps

Por fim, foi realizada a análise do trajeto entre a Praça da Liberdade, localizada na Savassi, e o bairro Pindorama, na Regional Noroeste. Observa-se na Figura 23 que o aplicativo Google Maps indica três percursos bastante similares, todos com tempos de viagem próximos, o que reforça a atratividade das rotas alternativas.

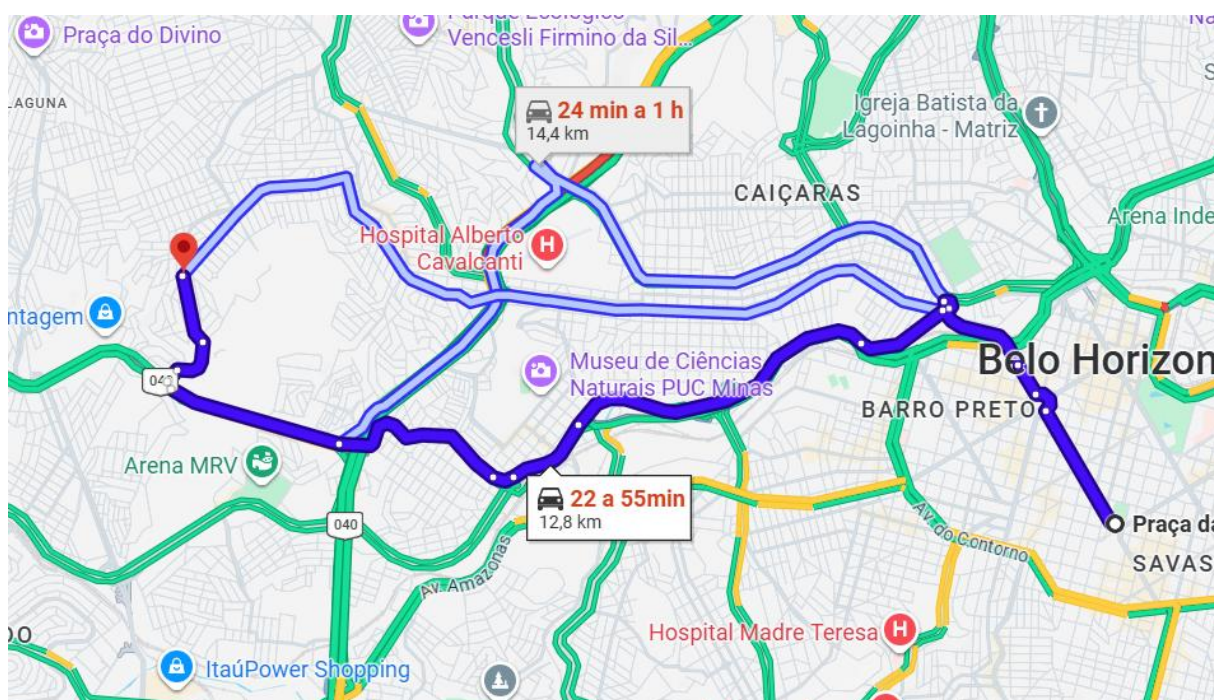
A primeira opção utiliza a Avenida Presidente Juscelino Kubitschek, com tempos estimados entre 22 e 55 minutos. Essa rota privilegia corredores arteriais, que

possuem maior capacidade de absorção de tráfego e infraestrutura mais adequada para viagens de longa distância.

A segunda alternativa passa pela Avenida Dom Pedro II, com tempos variando de 24 minutos a 1h00. Embora também seja uma via de maior hierarquia, apresenta interseções e trechos com maior atrito lateral, o que pode contribuir para o aumento da probabilidade de sinistros.

A terceira rota indicada utiliza a Rua Padre Eustáquio, com tempos estimados entre 24 minutos e 1h05. Essa opção, além de atravessar áreas residenciais, passa pela Rua Guararapes, que apresentou crescimento no número de sinistros ao longo dos anos, conforme apresentado na figura a seguir.

Figura 23: Análise - Praça da Liberdade até o bairro Pindorama



Fonte: Google maps

5. CONCLUSÕES

O presente estudo possibilitou uma análise aprofundada da dinâmica espacial e temporal dos sinistros de trânsito em Belo Horizonte entre os anos de 2012 e 2024, relacionando esses dados com o processo de inserção e consolidação dos aplicativos de navegação por GPS e de transporte privado. A partir dos resultados obtidos por meio da modelagem de densidade de Kernel no QGIS, identificaram-se evidências consistentes da influência do uso dessas plataformas tecnológicas na dispersão espacial dos sinistros viários na capital mineira. Constatou-se que, embora os eixos estruturantes do sistema arterial principal — como as avenidas Amazonas, Cristiano Machado, Antônio Carlos e do Contorno — permaneçam como polos de concentração devido ao elevado volume de tráfego, houve descentralização significativa e o surgimento de novos pontos críticos em vias coletoras e locais anteriormente pouco representativos em termos de sinistros. Esse fenômeno sugere que a redistribuição do tráfego, induzida pelos algoritmos de navegação, contribuiu para a transferência das zonas de conflito para áreas residenciais e secundárias.

No que se refere aos objetivos específicos da pesquisa, verifica-se que todos foram plenamente atendidos. O primeiro objetivo, voltado à caracterização do padrão espacial dos sinistros antes e depois da disseminação do GPS, foi alcançado ao se constatar que, nos anos de 2012 e 2013, as ocorrências estavam concentradas nos grandes corredores viários, passando a apresentar distribuição mais pulverizada e abrangente a partir de 2015. O segundo objetivo, que previa a construção de uma cronologia da implementação das plataformas de transporte, foi cumprido com o mapeamento detalhado desde a chegada do Uber em 2014 e do Waze, até a consolidação de doze aplicativos concorrentes em 2023. Por fim, o terceiro objetivo foi atingido ao se comprovar, por meio de simulações em tempo real no Google Maps em horários de pico, que as vias de menor hierarquia viária, para onde os sinistros se dispersaram, coincidem com as rotas alternativas sugeridas pelos algoritmos para otimização do tempo de viagem. Essa constatação valida a premissa de que o tráfego de passagem induzido por essas ferramentas transfere os pontos de conflito para ambientes originalmente residenciais, alterando a lógica tradicional da distribuição dos sinistros.

Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se a realização de investigações mais detalhadas sobre as flutuações temporais observadas no volume total de sinistros em Belo Horizonte, com o intuito de compreender os fatores que explicam a redução contínua até 2020 e o subsequente aumento progressivo entre 2020 e 2024. Além disso, recomenda-se a análise crítica das políticas públicas implantadas pelo município, como a Política de Segurança no Trânsito de Belo Horizonte (2014–2030) e as diretrizes do PVT, a fim de avaliar sua efetividade na contenção dos sinistros a longo prazo. É relevante investigar se o reaquecimento econômico pós-pandemia e a saturação da malha viária podem ter neutralizado os efeitos das ações preventivas, comprometendo os resultados esperados.

Finalmente, para o desenvolvimento de estudos ainda mais robustos sobre a relação entre o uso de GPS e a segurança viária em Belo Horizonte, seria essencial que os boletins de ocorrência passassem a incluir um campo específico informando se os motoristas envolvidos estavam utilizando aplicativos de navegação no momento do sinistro. A ausência desse dado direto constitui uma limitação recorrente em pesquisas sobre segurança viária. Sua inclusão permitiria estabelecer uma correlação empírica e objetiva entre o uso dessas tecnologias e os sinistros, fortalecendo as evidências estatísticas e reduzindo a dependência de inferências espaciais. Tal medida elevaria significativamente o nível das análises, contribuindo para a formulação de políticas públicas mais eficazes e fundamentadas na realidade da mobilidade urbana contemporânea.

REFERÊNCIAS

- 2 anos da Uber em Belo Horizonte. **UBER**, 11 set. 2016. Disponível em: < <https://www.uber.com/pt-br/blog/belo-horizonte/bh-uberversario-2anos/#:~:text=No%20dia%2012%20de%20setembro,uma%20oportunidade%20para%20gerar%20renda.>>. Acesso em: 26 mai. 2025.
- AKASH, K.; CHANDRAN, Lekshmi R.; PREETHA, P. K. Intelligent Speed Regulation System Using CNN Based Traffic Sign Recognition with Integrated CAN Communication. In: **2025 Emerging Technologies for Intelligent Systems (ETIS)**. IEEE, 2025. p. 1-6.
- ALI, Mohd Miskeen et al. Deep Learning-Based Accident Detection and Ambulance Notification System for Saving Lives on Roads. In: **2025 3rd International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA)**. IEEE, 2025. p. 1-5.
- APRESENTAMOS o W10 e a nova plataforma de cidadãos conectados. **Newswaze**. 1 out. 2014. Disponível em: < <https://newswaze.wordpress.com/2014/10/01/introducing-the-w10-and-the-new-connected-citizens-platformprogram/>>. Acesso em: 26 mai. 2026.
- ARAÚJO, Alex. BH ganha aplicativo de transporte para a comunidade LGBT. **G1**. 18 dez. 2018. Disponível em: < <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2018/12/18/bh-ganha-aplicativo-de-transporte-para-a-comunidade-lgbt.ghtml>>. Acesso em: 26 mai. 2026.
- ARCE JUNIOR, Francisco Lourenço Duarte. **Análise de dados do Waze para auxílio na diminuição de acidentes de trânsito na Região Metropolitana de Manaus**. 2024. Disponível em < <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/259670/PGIS0064-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>>. Acesso em: 05 out. 2025.
- BARBOSA, Wellington. Agora, BH tem mais duas empresas de transporte por aplicativo. **Estado de Minas**. 15 dez. 2023. Disponível em: < <https://www.em.com.br/gerais/2023/12/6671041-agora-bh-tem-mais-duas-empresas-de-transporte-por-aplicativo.html>>. Acesso em: 26 mai. 2026.
- BEIGI, Shahriar Austin; PARK, Byungkyu Brian. Impact of Critical Situations on Autonomous Vehicles and Strategies for Improvement. **Future Transportation**, v. 5, n. 2, p. 39, 2025.
- BICALHO, Paula. Concorrente do Uber e Cabify, Yet Go cadastra motoristas em BH e começa a operar no próximo dia 20. **Hoje em dia**. 09 ago. 2017. Disponível em: < <https://www.hojeemdia.com.br/minas/concorrente-do-uber-e-cabify-yet-go-cadastra-motoristas-em-bh-e-comeca-a-operar-no-proximo-dia-20-1.550382>>. Acesso em: 26 mai. 2026.
- BOTTESINI, Giovani. **Influência de medidas de segurança de trânsito no comportamento dos motoristas**. 2010. Disponível em: < <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/259>>. Acesso em: 04 nov. 2025.
- BRASIL (2018). Ministério das Cidades, Conselho Nacional de Trânsito, Departamento Nacional de Trânsito. Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (Pnatrans).
- BRASIL. Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Diretoria Geral, Diretoria Executiva, Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas**. Rio de Janeiro: 2010. Disponível em: < <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de>>

[manuais/vigentes/ipr_740_manual_projetos_geometricos_travessias_urbanas.pdf](#)>. Acesso em: 12 out. 2025.

BUTCHER, Isabel. Venuxx, app de transporte exclusivo para mulheres, adota reconhecimento facial. **Mobile time**. 14 fev. 2019. Disponível em: < <https://www.mobiletime.com.br/noticias/14/02/2019/venuxx-app-de-transporte-exclusivo-para-mulheres-chega-a-sao-paulo/>>. Acesso em: 26 mai. 2026.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO Antônio Miguel Vieira. **Introdução a Ciência da Geoinformação**. 2021. Disponível em < <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2025.

CONCORRENTE do Uber, Cabify chega a Belo Horizonte. **G1**. 11 out. 2016. Disponível em: < <https://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2016/10/concorrente-do-uber-cabify-chega-belo-horizonte.html>>. Acesso em: 26 mai. 2026.

CORASSA, Neuza. Uso do carro como uma extensão da casa e os conflitos no trânsito. **Comportamento humano no trânsito**. São Paulo: Casa do Psicólogo, p. 61-74, 2003.

COSTA, Camila Santos; DE OLIVEIRA FERNANDES, Vivian; JUNIOR, Mauro José Alixandrini. Aplicação de crowdsourcing na gestão e no planejamento de transportes: conceitos, potencialidades e parcerias do Waze. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 3, n. 2, p. 68-80, 2015.

DEMEKE, Ayenew Yihune et al. Advancing highway work zone safety: a comprehensive review of sensor technologies for intrusion and proximity hazards. **Transportation Research Record**, v. 2679, n. 2, p. 1066-1089, 2025.

Design of Machine Learning-Based Software for Transportation Optimization and Accident Reduction. **International Journal of Engineering Trends and Technology**, v. 73, n. 7, 31 jul. 2025.

DOS SANTOS, Cayo Henrique; GONÇALVES, Anderson Tiago Peixoto. Avaliação da qualidade do serviço prestado pelo aplicativo de transporte da UBER: uma aplicação da escala SERVQUAL. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 23, n. 2, p. 244-272, 2023.

FERRAZ, Antonio Clóvis Pinto “Coca” et al. **Segurança no trânsito**. 3. edição. Curitiba, PR, Brasil, 2023.

FERREIRA, José Roberto. **SIG MUNICIPAL – Uma proposta de implementação de SIG em municípios pequenos e médios**. 2013. Disponível em: < <https://hdl.handle.net/1843/IGCM-9J8NW2>>. Acesso em: 12 out. 2025.

FERREIRA, Nilson Clementino. Apostila de sistema de informações geográficas. **Goiânia: Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás**, 2006.

GHANBARI, Amir et al. On the road to school: A naturalistic study of adolescent bicyclist route safety. **Journal of safety research**, v. 95, p. 1-9, 2025.

HOFFMANN, Rosa Cristina; MIGUEL, R. A.; PEDROSO, Daiane Cristina. A importância do planejamento urbano e da gestão ambiental para o crescimento ordenado das cidades. **Revista de engenharia e tecnologia**, v. 3, n. 3, p. 70-81, 2011.

IM, Sun-Hyuck et al. Development of an automatic berthing system for twin-shaft twin-rudder ship based on push-pull mode utilizing kick motion. **Ocean Engineering**, v. 342, p. 122529, 2025.

INFORMAÇÕES sobre sinistros de trânsito com vítimas no município de Belo Horizonte. **PBH**. 17 ago. 2017. Disponível em: <

https://prefeitura.pbh.gov.br/bhtrans/informacoes/seguranca-e-educacao/politica-seguranca-transito-belo-horizonte?utm_source=copilot.com>. Acesso em: 31 mai. 2026.

JUNQUEIRA, Cora Rodrigues et al. **Redes colaborativas em aplicativos móveis: Crowdsourcing no desenvolvimento das cidades inteligentes**. 2017. Disponível em: <
<https://tede2.pucsp.br/handle/handle/20641>>. Acesso em: 31 mai. 2026.

KUTELA, Boniphace et al. Examining Patterns of GPS-Related Traffic Crashes: Insights from a Matched Case–Control Approach through Crash Narratives. **Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems**, v. 151, n. 9, p. 04025071, 2025.

LADY Driver dá início a corridas em Belo Horizonte, Betim e Contagem. **Diário do Comércio**. 8 mar. 2022. Disponível em: < <https://diariodocomercio.com.br/economia/lady-driver-da-inicio-a-corridas-em-belo-horizonte-betim-e-contagem/>>. Acesso em: 26 mai. 2026.

LAKSHMANAN, S. A. et al. Real-Time Alcohol Detection and Engine Immobilization System using GPS for Road Safety Applications. In: **2025 5th International Conference on Expert Clouds and Applications (ICOECA)**. IEEE, 2025. p. 993-1000.

LEOCÁDIO, Thaís. Belo Horizonte tem pelo menos três vezes mais motoristas de aplicativo do que taxistas. **G1**. 06 nov. 2019. Disponível em: < <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/11/06/belo-horizonte-tem-pelo-menos-tres-vezes-mais-motoristas-de-aplicativo-do-que-taxistas.ghtml>>. Acesso em: 26 mai. 2026.

LESLIE, Andrew J. et al. Examination of General Motors Super Cruise system field effects using state police report crash data. **Journal of Safety Research**, v. 92, p. 207-216, 2025.

MINISTÉRIO dos transportes. Estatísticas – Frota de Veículos – SENATRAN. **Gov**. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/estatisticas-frota-de-veiculos-senatran>. Acesso em: 4 jun. 2026.

NANDHINI, J. M. et al. Safety Vehicle Warning System Using the Internet of Things. In: **2025 International Conference on Data Science, Agents & Artificial Intelligence (ICDSAAI)**. IEEE, 2025. p. 1-5.

OLIVEIRA, Cinthya. Dois novos aplicativos de transporte estreiam em BH neste mês; veja como se cadastrar. **Hoje em Dia**. 01 set. 2017. Disponível em: <<https://www.hojeemdia.com.br/minas/dois-novos-aplicativos-de-transporte-estreiam-em-bh-neste-mes-veja-como-se-cadastrar-1.556208>>. Acesso em: 26 mai. 2025.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Plano Global: Década de ação pela segurança no trânsito 2021-2030, 2021**. Disponível em: <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/health-topics/road-traffic-injuries/global-plan-for-the-doa-of-road-safety-2021-2030-pt.pdf?sfvrsn=65cf34c8_35&download=true>. Acesso em: 20 nov. 2025.

PAI, Rahul Rajendra; DOZZA, Marco. Is e-cycling safer than e-scooter? Comparing injury risk across Europe when vehicle-type, location, exposure, usage, and ownership are controlled. **Journal of Safety Research**, 2025.

PARANAIBA, Guilherme. PBH e Waze fecham parceria para ampliar informações do trânsito no aplicativo. **Estado de Minas**. 4 ago. 2019. <Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2019/08/04/interna_gerais,1074678/pbh-e-waze-fecham-parceria-para-ampliar-informacoes-do-transito-no-app.shtml>. Acesso em: 26 mai. 2026.

PIZARRO, Ludmilla. Uber é o maior “empregador” privado de Belo Horizonte. **O Tempo**. 27 mai. 2017. Disponível em: < <https://www.otempo.com.br/economia/uber-e-o-maior-empregador-privado-de-belo-horizonte-1.1476802>>. Acesso em: 26 mai. 2026.

PRAVEEN, R. V. S. et al. Autonomous Vehicle Navigation Systems: Machine Learning for Real-Time Traffic Prediction. In: **2025 International Conference on Computational, Communication and Information Technology (ICCCIT)**. IEEE, 2025. p. 809-813.

PREFEITURA de Belo Horizonte. Relação de ocorrências de acidentes de trânsito com vítima. **Dados PBH**. Disponível em: < <https://dados.pbh.gov.br/dataset/relacao-de-ocorrencias-de-acidentes-de-transito-com-vitima>>. Acesso em: 26 mai. 2026.

PUZIO, Ewa; DROŻDŹ, Wojciech; KOLON, Maciej. The Role of Intelligent Transport Systems and Smart Technologies in Urban Traffic Management in Polish Smart Cities. **Energies**, v. 18, n. 10, p. 2580, 2025.

QUERFURTH, L. et al. Crash localization and traffic impact assessment via spatio-temporal analysis of connected vehicle data. **Accident Analysis & Prevention**, v. 214, p. 107956, 2025.

RUIZ, Thays Cristina Domareski; GÂNDARA, José Manoel. A relação entre o planejamento urbano e a competitividade dos destinos turísticos. **Revista brasileira de Pesquisa em Turismo**, v. 7, n. 2, p. 260-280, 2013.

SANTOS, Amanda. Apps de transporte: motoristas criam plataforma para definir suas próprias taxas. **Contábeis**. 18 set. 2021. Disponível em: < <https://www.contabeis.com.br/noticias/48715/apps-de-transporte-motoristas-criam-plataformas-para-definir-suas-proprias-taxas/>>. Acesso em: 26 mai. 2026.

SKAUG, Lars; NOJOUIMAN, Mehrdad. A Multimodal Artificial Intelligence Framework for Intelligent Geospatial Data Validation and Correction. **Inventions**, v. 10, n. 4, p. 59, 2025.

SUMATHI, N.; NAVAMANI, G. Real-Time Traffic Optimization: A Graph-Based Reinforcement Learning Framework. In: **2025 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)**. IEEE, 2025. p. 767-771.

TÉCNICAS, Associação Brasileira de Normas. **ABNT NBR 10697 - Pesquisa de sinistros de trânsito - Terminologia**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: Abnt, 2020.

UBER (2017). Disponível em: <<https://www.uber.com/pt-BR/our-story/>>. Acesso em: 26 mai. 2026.

UP TRIP – novo aplicativo de transporte de passageiro particular. **Agenda BH**. Disponível em: < <http://www.agendabh.com.br/up-trip/>>. Acesso em: 26 mai. 2026.

VIDA no trânsito. **PBH**. 09 mar. 2018. Disponível em: < https://prefeitura.pbh.gov.br/bhtrans/informacoes/seguranca-e-educacao/vida-no-transito?utm_source=copilot.com>. Acesso em: 31 mai. 2026.

WANG, Ruiqi; CAO, Guohong. Cooperative Traffic Map Construction in Vehicular Networks. In: **IEEE INFOCOM 2025-IEEE Conference on Computer Communications**. IEEE, 2025. p. 1-10.

YE, Yawei et al. Depth-driven machine vision framework for accurate vehicle speed measurement in dynamic environments. **Measurement**, p. 117717, 2025.

YU, Xintong. The application of GIS technology in accident prevention and management in intelligent traffic management systems. In: **Second International Conference on Big Data, Computational Intelligence, and Applications (BDCIA 2024)**. SPIE, 2025. p. 387-395.