



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Curso de Graduação em Engenharia Civil

---



**Lourenço Pessoa Domingues Lage**

**Análise do tempo semaforico para pedestres em  
interseções urbanas: um estudo para o Hipercentro de  
Belo Horizonte**

Ouro Preto

2022

Análise do tempo semafórico para pedestres em interseções urbanas: um estudo  
para o Hipercentro de Belo Horizonte

Lourenço Pessoa Domingues Lage

Trabalho Final de Curso apresentado  
como parte dos requisitos para obtenção  
do Grau de Engenheiro Civil na  
Universidade Federal de Ouro Preto.

Área de concentração: Transportes

Orientadora: Profa. D.Sc. Daniela Antunes Lessa – UFOP

Ouro Preto

2022

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

L174a Lage, Lourenço Pessoa Domingues.

Análise do tempo semafórico para pedestres em interseções urbanas [manuscrito]: um estudo para o Hipercentro de Belo Horizonte. / Lourenço Pessoa Domingues Lage. Lourenço Pessoa Domingues Lage. - 2022.

75 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Daniela Antunes Lessa.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Estradas - Interferências e interseções - Segurança viária. 2. Pedestres. 3. Danos (Direito). 4. Sistema de Informação Geográfica (SIG). 5. Geographically Weighted Regression (GWR). I. Lage, Lourenço Pessoa Domingues. II. Lessa, Daniela Antunes. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Laurenço Pessoa Domingues Lage**

Análise do tempo semafórico para pedestres em interseções urbanas: um estudo para o Hipercentro de Belo Horizonte

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil

Aprovada em 27 de junho de 2022

### Membros da banca

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Daniela Antunes Lessa - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Marina de Medeiros Machado - Universidade Federal de Ouro Preto  
Eng. Daniel Freitas Caputo Oliveira - Universidade Federal de Minas Gerais

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Daniela Antunes Lessa, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 27/06/2022



Documento assinado eletronicamente por **Daniela Antunes Lessa, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/06/2022, às 16:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0352447** e o código CRC **3E0F0C64**.

*A todos que apoiam e contribuem com a ciência brasileira.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e ao meu Anjo da Guarda por estarem sempre me guiando. Aos meus pais, Mônica e Ricardo, pelo incentivo e suporte indescritíveis quando o assunto é educação. A minha família e aos amigos pelo apoio, em especial a Alice Flores e Julia Viggiano por toda escuta, apoio e troca nesse período.

Agradeço à Escola de Minas e à UFOP pelas experiências que tive em ensino, pesquisa e extensão. Ao *Stipendium Hungaricum* e à *Budapest University of Technology and Economics* por me possibilitarem experiências tão engrandecedoras.

À minha orientadora, Daniela Lessa, por me apresentar a área de Transportes e por embarcar comigo nessa. Obrigado pela orientação e disponibilidade. Ao Daniel Oliveira pelo apoio durante essa trajetória. À BHTRANS pelo suporte fornecido.

Muito obrigado a todos que estiveram comigo nessa caminhada!

## RESUMO

Os pedestres, motociclistas e ciclistas são os mais vulneráveis no trânsito e é nítida a presença de uma engenharia viária focada nos veículos motorizados individuais. Além disso, em Belo Horizonte, os pedestres lideraram o número de mortes no trânsito entre 2011 e 2020. Assim, entende-se a importância de estudar a segurança dos pedestres na capital mineira. O estudo buscou entender as relações entre o tempo semaforizado disponível para o pedestre realizar travessia em uma interseção e o número de sinistros através de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica. A área estudada é o Hipercentro de Belo Horizonte, o qual é dividido em onze Áreas Homogêneas. Com dados fornecidos pela BHTRANS, foram gerados cartogramas de *HotSpot Analysis* de sinistros e de velocidades que permitiram análises estatísticas através dos parâmetros *p-value* e *Z score*. Identificou-se um hot spot de sinistros, um *hot spot* de velocidades e um *cold spot* de velocidades de travessia de pedestre, que representam padrões espaciais bem definidos, porém cada um em uma área distinta do Hipercentro. Foi feita uma análise da GWR, a qual apresentou valores muito baixos para  $R^2$  local, indicando que não foi possível prever valores de sinistros a partir das velocidades. Os resíduos foram padronizados em quatro das onze Áreas Homogêneas e nas demais apresentaram erros expressivos. Dessa forma, não foram encontradas relações diretas entre os parâmetros levantados para a área de estudo, mas ainda assim o estudo apresenta relevância para o desenvolvimento de novas pesquisas na área como para ações de (re)planejamento viário em Belo Horizonte.

Palavras-chaves: Segurança viária; Pedestres; Sinistros; Sistema de Informação Geográfica, *Geographically Weighted Regression*.

## ABSTRACT

Pedestrians, motorcyclists and cyclists are the most vulnerable in traffic and the presence of a road engineering focused on individual motor vehicles is clear. Furthermore, in Belo Horizonte, pedestrians led the number of traffic deaths between 2011 and 2020. Thus, it is understood the importance of studying pedestrians safety in the capital of Minas Gerais. The study aimed to understand the relationship between traffic light time available for pedestrians to cross an intersection and the number of accidents through Geographic Information System (GIS) tools. The studied area is Belo Horizonte's *Hipercentro*, which is divided into eleven Homogeneous Areas. With data provided by BHTRANS, HotSpot Analysis cartograms of accidents and speeds were generated that allowed statistical analysis through p-value and Z score parameters. One accident hot spot, one speed hot spot and one speed cold spot were identified, which represent well-defined spatial patterns, but each one in a distinct area of *Hipercentro*. A GWR analysis was developed, which showed very low values for local  $R^2$ , indicating that it was not possible to predict accidents values from speed data. Residues were standardized in four of the eleven Homogeneous Areas and in the others it showed significant errors. Thus, no direct relationship was found between the parameters surveyed for the studied area, but even so, the study is relevant for the development of new research in the area as well as for road (re)planning actions in Belo Horizonte.

Keywords: Road safety, Pedestrians, Accidents, Geographic Information System, Geographically Weighted Regression.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Fluxograma com as etapas do trabalho. Autoria própria. ....	21
Figura 2 – Projeto de Belo Horizonte realizado pelo engenheiro civil Aarão Reis, aprovada pelo decreto nº 817 de 15 de abril de 1895 (APM, 1895).....	22
Figura 3 - Divisão da Região Metropolitana de Belo Horizonte por Regionais Administrativas e Área Central da cidade (LESSA, 2019).....	23
Figura 4 - Hipercentro de Belo Horizonte. Autoria própria a partir de Google Earth, 2022).....	24
Figura 5 - (a) Região Central e a localização do Hipercentro de Belo Horizonte e (b) Divisão do Hipercentro em Áreas Homogêneas (AH) com as interseções analisadas. Autoria própria.....	26
Figura 6 - (a) Hot Spot Analysis: p-value para os dados de sinistros envolvendo pedestres e (b) Hot Spot Analysis: Z score para os dados de sinistros envolvendo pedestres. Autoria própria. ....	33
Figura 7 - <i>Hot Spot Analysis</i> para os sinistros. Autoria própria.....	34
Figura 8 - (a) <i>Hot Spot Analysis: p-value</i> para os dados de velocidade de travessia de pedestres e (b) <i>Hot Spot Analysis: Z score</i> os dados de velocidade de travessia de pedestres. Autoria própria. ....	37
Figura 9 - <i>Hot Spot Analysis</i> para as velocidades de travessia de pedestres. Autoria própria.....	38
Figura 10 - (a) $R^2$ local para as interseções do Hipercentro e (b) Resíduos padronizados para interseções e AHs do Hipercentro. Autoria própria.....	39

## SUMÁRIO

1	Introdução .....	1
1.1	Objetivo .....	3
1.1.2	Objetivos específicos .....	3
2	Revisão Bibliográfica.....	4
2.1	O ambiente construído e o deslocamento de pessoas .....	4
2.1.1	Mobilidade e acessibilidade .....	6
2.1.2	Crise da mobilidade urbana .....	8
2.2	Mobilidade ativa.....	9
2.3	O espaço urbano e os pedestres.....	10
2.4	Segurança viária e planejamento urbano .....	13
2.4.1	Segurança dos pedestres .....	14
2.4.2	Interseções urbanas.....	16
2.4.3	Sistemas de Informações Geográficas .....	18
3	Metodologia.....	20
3.1	Etapas do trabalho.....	20
3.2	Apresentação da área de estudo.....	21
3.2.1	O Hipercentro de Belo Horizonte .....	23
3.3	Escolha de unidade territorial .....	25
3.4	Tratamento de dados.....	26
3.5	Georreferenciamento das interseções.....	27
3.5.1	Análise <i>HotSpot</i> .....	28
3.5.2	A Regressão Geograficamente Ponderada.....	28
3.6	Análise das relações encontradas .....	30

4	Resultados .....	32
4.1	Análise e interpretação dos dados de sinistros .....	32
4.2	Análise e interpretação dos dados de velocidade dos pedestres .....	35
4.3	Análise da GWR .....	39
5	Conclusão .....	43
5.1	Sugestões para trabalhos futuros .....	44
	Referências.....	45
	Anexo A – Dados de sinistros e velocidades de pedestres para travessias em interseções semaforizadas do hipercentro de Belo Horizonte fornecidos pela BHTRANS.....	55
	Anexo B – Mapa de calor exibindo a quantidade e a distribuição espacial de sinistros de trânsito, registrados de 2011 a 2020, que envolveram mortos.....	63
	Anexo C – Mapa de calor exibindo a quantidade e a distribuição espacial de sinistros de trânsito, registrados de 2011 a 2020, que envolveram feridos graves. ...	64

# 1 INTRODUÇÃO

Estima-se que em 2050 mais de dois terços da população mundial esteja vivendo em zonas urbanas, cenário oposto ao de 1950. Nessa época, mais de dois terços da população mundial (70%) vivia em zonas rurais. Essa mudança acarretou no surgimento de grandes metrópoles (ONU, 2019).

O processo se deu de forma acelerada e no Brasil, por exemplo, o nível de urbanização chegou a superar o de países nos quais este havia se iniciado anteriormente, como na Europa e nos EUA (FRANCO; RANGEL, 2017). Os problemas relacionados à mobilidade, como poluição do meio ambiente, alto número de sinistros e poucas alternativas de deslocamento nas cidades, foram ocasionados pelo rápido crescimento populacional e pelas transformações no espaço urbano, acarretando também impactos ambientais decorrentes dos transportes (BRESSAN, 2020).

No período de urbanização do Brasil, houve crescimento de extensos tecidos urbanos, principalmente na região sudeste, tendo como núcleos de expansão algumas capitais como São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte (CUNHA, 2010). Assim, as distâncias sociais aumentaram nas grandes cidades, que se tornaram grande *locus* da desigualdade social e da concentração de pobreza (CUNHA, 2010).

No intuito de reduzir os impactos da crise econômica e considerando que a indústria de automóveis é fundamental para o país, as ações dos governantes, bem como políticas públicas, concentraram-se em adotar o carro como meio de transporte regular por grande parte da população (TAKEMOTO, 2014).

Além disso, a posse de automóveis ou motocicletas por domicílios brasileiros cresceu de 45% para 54% entre 2008 e 2012, indicando a tendência dos deslocamentos nas cidades brasileiras serem cada vez mais dependentes e estruturados sob a perspectiva dos veículos individuais motorizados (IPEA, 2013). O capitalismo industrial fez com que as posturas relacionadas ao espaço público mudassem, transformando o pedestre em um observador, sem influência, ação e decisão nas atividades envolvidas no planejamento e na produção do espaço urbano (AGUIAR, 2003).

Para Bressan (2020, p. 28) “o incentivo à caminhar e à andar de bicicleta para exercer as atividades diárias deveria ser considerado uma política urbana a fim de retomar e fortalecer a função social do espaço urbano”. Além disso, o autor afirma que a oferta a caminhada para a população tem forte influência no acesso a oportunidades, além de alimentar o sentimento de pertencimento àquela comunidade (BRESSAN, 2020). Fomentar melhorias na mobilidade e na qualidade de vida da população, a fim de reduzir a ocorrência de sinistros ou redução da gravidade tem se tornado um desafio para a engenharia de tráfego (BRASIL, 1998).

Segundo dados da OMS, mais de 1,2 milhão de pessoas morrem por ano devido aos sinistros de trânsito, sendo os jovens (15 a 29 anos) os mais afetados. Ademais, 90% das mortes no trânsito no mundo ocorrem em países de baixa e média renda (OMS, 2010). Segundo o Relatório de Sinistros de 2020 da BHTRANS (2021), nesse ano em Belo Horizonte o número de sinistros de trânsito com vítimas foi de 10.624, provocando 12.544 vítimas não fatais e 113 vítimas fatais. Em média diária, em 2020 houve 29,1 sinistros com 36,5 vítimas (BHTRANS, 2021).

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável definiu como meta a redução do número de mortos e feridos por sinistros de trânsito pela metade em todo o mundo até 2030. Nesse sentido, criou-se o Plano Global – Década de Ação pela segurança no trânsito 2011-2020. Depois foi definida a segunda década, referente ao período de 2021-2030, que apresenta as medidas para se atingir a meta, incentivando governos e parceiros a implementarem uma abordagem integrada de sistemas seguros (OMS, 2021). Tal abordagem considera os fatores de risco e medidas relacionadas aos usuários da via, aos veículos e ao ambiente em si de forma conjunta, proporcionando medidas de segurança mais elaboradas e eficazes (OPAS, 2013).

Em geral, a estrutura das cidades e o planejamento de tráfego têm como foco os deslocamentos motorizados, os deslocamentos ativos – a pé ou por bicicleta – não recebem a devida atenção (GEHL; SVARRE, 2017; TAKEMOTO, 2014). Dessa forma, muitas vezes o tempo semaforizado disponibilizado para travessia dos pedestres não é suficiente e, com maior tempo de espera, os pedestres ficam impacientes e realizam a travessia mesmo com o sinal vermelho, aumentando as chances de ocorrer um sinistro (PAPADIMITRIOU; YANNIS; GOLIAS, 2009).

O Guia Global de Desenho de Ruas levanta que os cruzamentos desempenham um papel fundamental na configuração da legibilidade, da eficiência e da segurança da malha viária de uma cidade, ao mesmo tempo que são nos cruzamentos que ocorre a maioria dos sinistros (NACTO E GDCI, 2013). Em termos de área e extensão, as interseções representam uma porcentagem pequena do total de malha viária mas ainda assim apresentam altos índices de sinistros, classificando-se como locais de potencial de periculosidade (PEÑA; GOLDNER, 2012). Para Néspoli (2012), as interseções são áreas extremamente confusas para os usuários, devido ao grande fluxo de veículos e pessoas e possuem “inúmeros apelos visuais que ‘roubam’ das pessoas grande parte da sua concentração” (NÉSPOLI, 2012, p. 17), levando à ocorrência de um alto número de sinistros.

A combinação de ciclos semaforicos pensados para condições reais de travessia e o desenho geométrico possibilitam a criação de ruas multimodais altamente funcionais, com travessias e cruzamentos seguros (NACTO E GDCI, 2013). Dessa forma, aponta-se a relevância do presente estudo para a área de Transportes, com enfoque na segurança de pedestres, relacionando o tempo semaforico para travessia com a quantidade de sinistros ocorridos na área de estudo.

## **1.1 Objetivo**

O objetivo do presente trabalho é analisar a relação entre o número de sinistros envolvendo pedestres em interseções semaforizadas e o tempo destinado exclusivamente à travessia de pedestres.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Compreender as grandes temáticas que envolvem a pesquisa: mobilidade ativa e segurança viária;
- Subsidiar a formulação de medidas propositivas que visem minimizar o número de sinistros em interseções urbanas.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 O ambiente construído e o deslocamento de pessoas**

Na produção do espaço urbano tal qual vivenciamos atualmente, o pedestre foi marginalizado e negligenciado em prol dos veículos motorizados – espaços públicos limitados, obstáculos, barulho excessivo, poluição, risco de sinistros e condições degradantes são exemplos do que encontra-se ao caminhar pelas cidades (GEHL; SVARRE, 2017). Isso ocorre, dentre muitos motivos, devido à priorização que é dada às viagens motorizadas, deixando o pedestre em segundo plano e ameaçando as funções sociais e culturais do espaço urbano (GEHL; SVARRE, 2017). Além disso, os problemas urbanos contemporâneos gerados, como congestionamento, dependência de combustíveis e mudanças climáticas, tem levado aos estudos de planejamento territorial e design urbano para controlar o uso do automóvel (EWING; CERVERO, 2010).

Jones (2014) apresenta a evolução dos transportes nos últimos 50 anos sob a perspectiva das cidades europeias em três estágios, sendo o primeiro caracterizado pelo aumento rápido na posse e no uso de automóveis - associado ao desenvolvimento ou expansão da indústria automobilística, tendo como prioridade o aumento da capacidade viária e da oferta de estacionamento que atende às necessidades do tráfego motorizado individual. As cidades brasileiras se encontram nesse estágio, dadas as deficiências de mobilidade e fragilidades quanto ao planejamento e ao gerenciamento do setor de transportes urbanos (CERVERO, 2013; PORTUGAL; FLÓREZ; SILVA, 2010).

O segundo estágio se caracteriza pelo estímulo aos deslocamentos por modalidades mais eficientes e produtivas, como transporte público e, em especial, de maior capacidade (metrô e trem). Por fim, o terceiro foca na qualidade de vida das pessoas, abordando medidas de diminuição de espaços e capacidades para veículos motorizados, estimulando os modos ativos – modos de transporte à propulsão humana e aprimorando o transporte público (JONES, 2014).

Muitos estudos apontam que a qualidade do ambiente urbano está diretamente relacionada à qualidade dos deslocamentos nas cidades (BRESSAN, 2020; EWING; CERVERO, 2010; LARRAÑAGA et al., 2016; PEREIRA et al., 2018; SAMIOS, 2018).

Nesse sentido, Ewing e Cervero (2010) definem cinco variáveis para mensurar e avaliar o ambiente construído, conhecidas como os “5 Ds”.

A primeira é a Densidade (*Density*) a qual sempre é medida como a variável de interesse por unidade de área. A área pode ser bruta ou líquida e a variável de interesse pode ser população, unidades de habitação, emprego ou outra variável (EWING; CERVERO, 2010). A densidade se refere à intensidade do uso do solo para moradia, emprego e outras finalidades. Quanto mais compacta for a cidade, maior a tendência de esta ser densa e de apresentar maior equilíbrio no uso do solo (SAMIOS, 2018).

O Desenho urbano (*Design*) diz respeito à qualidade do ambiente construído para caminhadas e à configuração física das redes viárias. São considerados aspectos como provisão, largura e manutenção de calçadas, iluminação, arborização, travessia de pedestres, condições estéticas das edificações para diferenciar um desenho urbano que prioriza o transporte ativo ou o transporte individual (EWING; CERVERO, 2010).

A Diversidade (*Diversity*) mensura o número de diferentes usos do solo em uma dada área, avaliando se seu uso é predominantemente residencial, comercial, institucional ou se há um equilíbrio entre os usos (EWING; CERVERO, 2010). O conceito de entropia pode ser usado para avaliar a diversidade. Na termodinâmica, a entropia é uma grandeza física capaz de medir o grau de desordem de um sistema físico termicamente isolado – quanto maior a desordem, maior a entropia (BORGES, 1999). Nesse sentido, bairros com baixa entropia apresentam predominância de uma única tipologia de uso (LARRAÑAGA et al., 2016).

A Distância ao transporte coletivo (*Distance of transit*) é usualmente mensurada como uma média dos caminhos mais curtos entre as residências ou locais de trabalho até a estação de metrô ou ponto de ônibus mais próximo. Pode também ser mensurada como a distância entre pontos de paradas ou número de estações por unidade de área (EWING; CERVERO, 2010). A distância a pé até estações de transporte é um indicador da categoria Mobilidade do Índice de Caminhabilidade, desenvolvido pelo Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento em 2018, para avaliar um espaço urbano (IPTD, 2018).

A acessibilidade ao Destino (*Destination accessibility*) mensura a facilidade de acesso aos centros atratores de viagens, como locais com oferta de emprego, educação, saúde e comércio em geral. Regiões com equilíbrio entre uso residencial e comercial-varejo (uso misto do solo) apresentam potencial de promover o bem-estar dos moradores, pois o número de atividades que podem ser realizadas em uma única viagem é maior (LARRAÑAGA et al., 2016).

As cinco variáveis têm definições amplas e podem abranger um mesmo tópico, como acessibilidade ao destino e diversidade que ambas abordam aspectos de uso misto do solo (EWING; CERVERO, 2010). Por outro lado, as cinco variáveis também se conectam, proporcionando espaços urbanos mais caminháveis e comunidades mais vibrantes, sendo o deslocamento ativo uma alternativa interessante e atraente (BLIESNER; BOUTON; SCHULTZ, 2010 apud SAMIOS, 2018).

### **2.1.1 Mobilidade e acessibilidade**

Segundo de Souza (2021), a mobilidade está relacionada a condições como dimensões do espaço urbano, complexidade das atividades ali desenvolvidas, disponibilidade de serviços de transporte e características da população, como renda, faixa etária e gênero. Além disso, tem relação direta com o desenvolvimento econômico das cidades, interação social e bem-estar da população (BRASIL, 2006).

A Lei da Mobilidade Urbana nº 12.587/2012 define mobilidade urbana como “condição em que se realizam os deslocamentos de pessoas e cargas no espaço urbano” (BRASIL, 2012). De forma semelhante, para Lessa (2019), a mobilidade está relacionada ao deslocamento efetivo de pessoas no espaço urbano, à necessidade por transporte e à apropriação e uso coletivo e individual do espaço urbano. Para Bressan (2020), a mobilidade é alcançada quando o indivíduo é capaz de superar as impedâncias impostas quanto à falta de acessibilidade, como: distância, custo, tempo, esforço físico, etc. Se a impedância prevalece, acarreta-se na imobilidade, ou seja, a não realização das viagens necessárias (BRESSAN, 2020).

Para pensar a mobilidade dentro da noção de sustentabilidade, não se deve considerar somente os sistemas de transporte e as vias em si; é necessário pensar que a realização de viagens está intimamente relacionada ao propósito de se

desenvolver atividades socioeconômicas, o que afeta o exercício cotidiano de cidadania, a qualidade de vida da população e a própria sustentabilidade urbana (PORTUGAL, 2017).

Vasconcellos (1998) alertou em seus estudos que maiores ações por parte do poder público devem proporcionar uma maior acessibilidade aos pedestres, ciclistas e usuários do transporte público. E para alcançar essa reestruturação do espaço, deve-se criar novas oportunidades de uso das opções disponíveis como um controle maior sobre o uso do solo, além modificações físicas, com mudanças no tecido urbano existente e o seu adensamento controlado (VASCONCELLOS, 1998).

“Caminhar é a forma mais democrática de se locomover” (ANDRADE; LINKE, 2017, p. 6) e, compete ao Estado garantir o direito de ir e vir de todos os indivíduos, explorando a vertente da inclusão inversa (PEREIRA et al., 2018) - processo de inclusão em que o todo participa e usufrui de programas e espaços adaptados a grupos mais vulneráveis fazendo com que toda diversidade seja atendida (SILVA; CARDOSO; ALMEIDA, 2021).

De acordo com o IBGE (2010), há no Brasil cerca de 13,2 milhões de pessoas com dificuldade de caminhar ou subir escadas, podendo ser considerado como um indicador das pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida. A Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência, Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015 define acessibilidade como o “direito que garante à pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida viver de forma independente e exercer seus direitos de cidadania e de participação social” (BRASIL, 2015b, p. 17). Além disso, fica estabelecido:

Art. 55. A concepção e a implantação de projetos que tratem do meio físico, de transporte, de informação e comunicação, inclusive de sistemas e tecnologias da informação e comunicação, e de outros serviços, equipamentos e instalações abertos ao público, de uso público ou privado de uso coletivo, tanto na zona urbana como na rural, devem atender aos princípios do desenho universal, tendo como referência as normas de acessibilidade.

§ 1º O desenho universal será sempre tomado como regra de caráter geral. (BRASIL, 2015, p. 18)

Desenho universal fica definido pelo artigo 3º da Lei nº 13.146 como “concepção de produtos, ambientes, programas e serviços a serem usados por todas as pessoas, sem necessidade de adaptação ou de projeto específico, incluindo os recursos de tecnologia assistiva” (BRASIL, 2015b, p. 8).

Lessa (2019, p. 15) define acessibilidade como “uma somatória de dimensões ligadas à localização dos destinos a serem alcançados; à distribuição espacial da população e das atividades econômicas e de serviços; assim como as características do sistema de transportes”.

### **2.1.2 Crise da mobilidade urbana**

O desenvolvimento urbano no Brasil ocorreu em meados do século XX através de um planejamento econômico com incentivo à industrialização (CARDOSO, 2007). Nesse período, houve o crescimento de extensos tecidos urbanos, principalmente na região sudeste (CUNHA, 2010), com as atividades econômicas concentradas nos principais centros urbanos, levando a um intenso fluxo migratório interno (LOBO; CARDOSO, 2018) e exigindo extensos deslocamentos (LESSA, 2019).

As grandes cidades se tornaram grande *locus* de desigualdade social e da concentração de pobreza (CUNHA, 2010) e houve um crescimento intenso da produção e consumo do transporte motorizado individual (CARDOSO, 2007). Como a indústria de automóveis é fundamental para o país e no intuito de reduzir os impactos da crise econômica, as ações dos governantes, bem como políticas públicas, concentraram-se em adotar o carro como meio de transporte regular por grande parte da população (TAKEMOTO, 2014).

O capitalismo industrial fez com que as posturas relacionadas ao espaço público mudassem, transformando o pedestre em um observador, sem interferir no cenário urbano (AGUIAR, 2003). As rodovias foram vistas como solução para integração nacional (COSTA; CLAUDIA; SIMONE, 2013), porém o foco numa transformação eficiente para automóveis fez com que a produção de transporte urbano no Brasil ocorresse de forma irracional e ineficiente (LIMA NETO, 2004).

Os problemas de mobilidade, como congestionamentos, poluição e queda na qualidade de vida urbana, acarretam custos sociais desigualmente repartidos na sociedade (CARDOSO, 2007) e, ainda que seja percebido por todas as classes sociais, o impacto é maior quanto menor a renda, pois os indivíduos de classes mais baixas dependem mais de meios não motorizados e de transporte público (VASCONCELLOS, 1998). As consequências são vistas nos congestionamentos; propagação de deseconomias urbanas (consumo de recursos não renováveis e tempo perdido); necessidade de infraestruturas viárias cada vez mais robustas, como obras de arte e estacionamento; maior risco de sinistros; impactos na saúde pública e ambiental; poluição visual e sonora causando estresse aos usuários e deterioração dos transportes coletivos (CADURIN, 2016; CARDOSO, 2007).

Diante dessa realidade, o foco deve estar na diminuição dos veículos nas ruas atrelada à melhoria e eficiência dos demais modos (DIAS, 2020; JACOBS, 2011). Jacobs (2011) ainda ressalta que o problema central está na forma como as cidades e as pessoas se relacionam com os carros, e não o automóvel por si só. A mobilidade sustentável vem como uma nova e necessária abordagem para o planejamento da mobilidade (COSTA, 2008) e busca incorporar os preceitos de sustentabilidade econômica, social e ambiental (BRASIL, 2015a; WBCSD, 2004).

## **2.2 Mobilidade ativa**

Uma cidade viva convida as pessoas a andar, pedalar e ocupar os espaços, tornando-a mais segura, sustentável e saudável (GEHL; SVARRE, 2017). Günther et al. (2018) define a mobilidade ativa como o deslocamento de pessoas por modos de transporte não motorizados, como deslocamento a pé e através de bicicletas. Esse tipo de deslocamento deve estar de forma inegociável integrados à rotina das pessoas, como uma política de saúde unificada uma vez que tem impacto na redução de congestionamentos e papel importante na relação entre cidadão e cidade (GÜNTHER et al., 2018; GEHL; SVARRE, 2017).

A caminhabilidade pode ser vista como uma forma de transformar o ambiente urbano em um ambiente mais acessível, compacto, seguro, trafegável e atraente aos

pedestres (FORSYTH, 2015). Burden (2001) define a caminhabilidade como uma forma de relatar ou avaliar a qualidade do espaço urbano para a caminhada.

O planejamento urbano deve sempre garantir o direito de ir e vir, considerando a pluralidade humana. Nesse sentido, a depender das condições de acessibilidade, estas podem acarretar na (i)mobilidade urbana de grupos mais vulneráveis, como classes mais pobres, mulheres e pessoas com mobilidade reduzida (crianças, idosos, pessoas com deficiência, gestantes, pessoas com crianças de colo, obesos) (FALAVIGNA; RODRIGUES; HERNANDÉZ, 2017).

Pesquisas relacionando planejamento urbano, transporte e saúde pública têm encontrado relações entre ambiente construído e transporte ativo (HOEHNER et al., 2003; SAELENS et al., 2003). São diversos os fatores que estimulam e favorecem o deslocamento ativo (caminhada e andar de bicicleta): disponibilidade de calçadas, acesso rápido às localidades, menor tráfego de veículos motorizados, menor velocidade de tráfego, presença de ciclovias, a arborização dos ambientes, parques, áreas abertas, sombras, locais para descanso, pouco ruído, segurança e construções históricas (PIKORA et al., 2003; PEREIRA et al., 2018). Além disso, também há pontos que afastam as pessoas de realizar atividades ao ar livre, como presença de lixo, cruzamentos perigosos, barulho de tráfego, qualidade das calçadas, dentre outros (PIKORA et al., 2003).

Para Siebert e Lorenzini (1998) a sociedade avalia a mobilidade ativa, a qual está se degradando rapidamente nas grandes cidades, de forma intuitiva. A população precisa entender a relevância da mobilidade ativa para o exercício da cidadania e não só para a circulação (SIEBERT; LORENZINI, 1998). Cidades demandam que as pessoas caminhem mais por suas vias, reconhecendo a importância do ir e vir do pedestre e dos ciclistas para a sustentabilidade e a saúde na sociedade (GEHL; SVARRE, 2017).

### **2.3 O espaço urbano e os pedestres**

Vasconcellos (2017) mostra como a engenharia viária, em geral, é focada exclusivamente à pista de rolamento de veículos quando pontua que atualmente a responsabilidade de construção e manutenção de calçadas no Brasil é do proprietário

do lote, deixando de ser pauta pública - realidade oposta à infraestrutura para veículos motorizados. Apenas grandes cidades brasileiras têm normas para a construção de calçadas, como Curitiba, através de uma Lei Municipal, São Paulo através de um decreto e Belo Horizonte com a Cartilha de Construção e Manutenção de Passeios da PBH.

A desvalorização do pedestre no planejamento urbano tem três motivos, afirma Litman (2003). O primeiro deles é a maior dificuldade de medida das qualidades do ambiente para a caminhada em relação a viagens de veículos motorizados, invisibilizando os pedestres para os planejadores. Atualmente, as análises de movimento de pedestres se reduzem a decisões relacionadas à instalação de semáforos, limitando a participação deste no meio urbano (VASCONCELLOS, 2017).

O segundo é a falta de uma indústria consolidada focada no pedestre, criando um estigma no ato de caminhar e o uso de veículos motorizados torna-se questão de status e sucesso (LITMAN, 2003). O último motivo também ilustra como os pedestres são invisíveis: acredita-se que esses não necessitam de investimentos e incentivos pois é possível caminhar em qualquer via, mesmo sem calçadas, acarretando na existência de ruas sem condições mínimas de infraestrutura para o uso a pé (LITMAN, 2003). Ao comparar os investimentos sociais (em especial os em saúde e infraestrutura de tráfego rodoviário) com os gastos da inclusão dos pedestres, estes se apresentam tão pequenos que os investimentos na área são factíveis para cidades em todo o mundo, independente do estágio de desenvolvimento (GEHL; SVARRE, 2017).

Para Bressan (2020), espaços desenhados para pedestre têm a capacidade de fortalecer as relações sociais e criar prosperidade na vida urbana, pois a oferta à caminhada pode determinar o acesso às oportunidades locais, criando uma sensação de pertencimento àquela comunidade. Logo, para que haja maior ocupação das cidades pelas pessoas, é necessário que as cidades sejam convidativas e agradáveis (BRESSAN, 2020).

Quando o desenho de calçada incentiva a caminhada, é possível reduzir a necessidade do uso de carros, promovendo uma maior conectividade do pedestre com a rua, fomentando assim a vitalidade nos espaços urbanos (GEHL; SVARRE,

2017). Além disso, estudiosos da área apontam o transporte como uma grande preocupação quanto às mudanças climáticas, uma vez que, segundo o Instituto Espacial Goddard da Nasa, as emissões de carbono do transporte rodoviário cresciam mais rapidamente do que o carbono emitido pela geração de energia (TSAY, 2017; UNGER et al., 2010).

Haia, na Holanda, destaca-se por sua rede de segurança e serviços de apoio ao pedestre: destinação de recursos financeiros local e nacional exclusivamente para medidas de segurança de pedestres; visão integrada da segurança de pedestres e planejamento urbano (OPAS, 2013). Além disso, em 1989, foi instalado um plano de segurança viária, priorizando os pedestres no projeto do espaço público. A cidade que na década de 80 era dominada por carros e trânsito pesado passou por intervenções com foco no pedestre de forma que em 2011 quase toda a cidade foi transformada em área para pedestres e atualmente é a cidade holandesa com maior zona livre de carros, além de o número de pedestres mortos por ano não ultrapassar 10 (OPAS, 2013).

Copenhague, capital da Dinamarca, é outro exemplo de uma comunidade mais favorável ao pedestre. Nos anos 60 a cidade não tinha espaços públicos focados no pedestre e, até 1995, foram criados mais de 71000 metros quadrados de áreas para pessoas, de modo que o número de pedestres acessando essas áreas foi além do esperado, possibilitando à comunidade apreciar a cidade através de eventos de entretenimento, atividades políticas e comércio (GEMZOE, 2001).

Em Nova Dehli, na Índia, ainda que a maior parte dos deslocamentos é feita a pé ou por ônibus, os pedestres representavam de 45 a 51% do número de mortes por sinistros de trânsito no país (OPAS, 2013). Assim, a prefeitura da cidade realizou intervenções, dentre elas, a instalação de semáforos automáticos e sonorizadores para reduzir a velocidade dos ônibus; construção de calçadas contínuas e largas o suficiente para o tráfego de pedestres existente; áreas de espera para pedestres na lateral da via, em cada interseção e faixas de pedestre com 5 metros de largura com faixas de retenção de 3 metros. Dentre os resultados obtidos, teve-se a redução de 60-90% das mortes de pedestres em dez locais de alto risco (OPAS, 2013).

## 2.4 Segurança viária e planejamento urbano

Vasconcellos (2017) levanta uma contradição sobre a mobilidade urbana no Brasil: ainda que o deslocamento a pé seja a forma mais importante usada pelos brasileiros para circular, esse não recebe a devida atenção, uma vez que as análises de mobilidade urbana focaram no transporte público e no transporte individual motorizado (automóveis e motocicletas). Além disso, a caminhada se torna mais perigosa e difícil com a urbanização, em especial nas regiões que cresceram rapidamente, e com as políticas de estímulo aos carros que ocasionaram a desvalorização das calçadas em projetos de infraestrutura urbana tanto em países ricos quanto nos em desenvolvimento (SADIK-KHAN; SOLOMONOW, 2017).

A Abordagem Sistêmica de Segurança defende que a viagem deve ser segura para todos os usuários da via e tem como objetivo, através de políticas públicas, eliminar sinistros fatais e diminuir as lesões graves através de um sistema de transporte seguro que considera o erro humano e reconhece a vulnerabilidade das pessoas a ferimentos graves (OPAS, 2013). A colisão ou atropelamento ocorrem por fatores como velocidade, desenho das vias, leis e condições de mobilidade disponíveis para as pessoas, de modo que estes não podem ser nomeados acidentes, como se fossem como fortuitos e aleatórios (RIZZON; CORRÊA, 2021). Nesse sentido, a revisão da norma NBR 10697, alinhada à abordagem do sistema seguro, define sinistro de trânsito como:

(...) todo evento que resulte em dano ao veículo ou à sua carga e/ou em lesões a pessoas e/ou animais, e que possa trazer dano material ou prejuízos ao trânsito, à via ou ao meio ambiente, em que pelo menos uma das partes está em movimento nas vias terrestres ou em áreas abertas ao público (ABNT, 2020b, p. 1).

O planejamento urbano e dos transportes devem ser conectados, garantindo atenção às características do ambiente construído: a densidade e diversidade do uso do solo, sistemas de transporte público de qualidade e restrições ao uso do automóvel. Dessa forma consegue-se incentivar a mobilidade sustentável, a qual está

diretamente ligada com a qualidade de vida das pessoas (BRESSAN, 2020; CERVERO et al., 2009; GEHL, 2013).

A OMS divulgou em 2010 que metade do número de mortes anual por sinistros de trânsito são de pedestres, motociclistas e ciclistas. Além disso, menos de um terço dos países atendem aos critérios básicos para reduzir velocidade em áreas urbanas (OMS, 2010). Um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável da ONU é “Cidades e Comunidades Sustentáveis”, cuja missão é tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis. Esse ODS é destrinchado em diversas metas, dentre elas a meta 11.2:

Até 2030, melhorar a segurança viária e o acesso à cidade por meio de sistemas de mobilidade urbana mais sustentáveis, inclusivos, eficientes e justos, priorizando o transporte público de massa e o transporte ativo, com especial atenção para as necessidades das pessoas em situação de vulnerabilidade, como aquelas com deficiência e com mobilidade reduzida, mulheres, crianças e pessoas idosas (ONU, 2015).

Jacobs (2011) afirma que as ruas das cidades e suas calçadas têm como função fundamental manter a segurança urbana. Além disso, pontua que uma vez que as ruas estejam livres de violência e medo, a cidade também estará. “Quando as pessoas dizem que uma cidade, ou parte dela, é perigosa ou selvagem, o que querem dizer basicamente é que não se sentem seguras nas calçadas” (JACOBS, 2011, p. 29).

#### **2.4.1 Segurança dos pedestres**

As melhorias de infraestrutura devem adotar uma postura holística e multifacetada, abrangendo simultaneamente diferentes estratégias, desde as mais tradicionais como fiscalização e educação até planejamento do uso do solo e estratégias de projetos viários (OPAS, 2013). Um estudo encontrou que deficiências na infraestrutura, características geométricas, uso do solo e características do tráfego estão diretamente relacionados à falta de segurança dos pedestres (MUKHERJEE;

MITRA, 2020). O volume de tráfego está diretamente ligado com as chances de ocorrerem sinistros nas vias - uma redução de 30% no volume de tráfego pode reduzir o número de pedestres feridos em 35% e o risco de colisão com pedestres em interseções cai 50% (MIRANDA-MORENO; MORENCY; EL-GENEIDY, 2011).

Além disso, o porte de veículo que ocupa a via também influencia nas probabilidades de gravidades de ocorrência de sinistros: há maior chance de morte de pedestres atingidos por caminhões do que atingidos por veículos de passeio (ROUDSARI et al., 2004). Outro fator que aumenta o risco para os pedestres é a largura das vias e número de faixas na via, pois estas aumentam o tempo de travessia do pedestre e podem resultar em maiores velocidades para os veículos (ZAJAC; IVAN, 2003; ZHANG; CHEN; WEI, 2019). O alargamento de um metro da via pode acarretar em um aumento de até 3% na frequência de atropelamentos (RIZZON; CORRÊA, 2021). Os pedestres, bem como os ciclistas e motociclistas, correm maior risco de sofrer lesões graves quando colidem com um automóvel, sendo classificados como os mais vulneráveis, uma vez que não estão protegidos pelo casco de um veículo (NACTO E GDCI, 2013).

Os pedestres precisam de caminhos contínuos e desobstruídos para circular, espaços bem iluminados, edifícios com bordas convidativas, lugares sombreados para repousar e caminhar, e sinalização orientativa para usufruir de uma experiência de rua segura e confortável (NACTO E GDCI, 2013).

Existem artifícios que proporcionam uma maior segurança aos pedestres, como intervenções na infraestrutura. O *traffic calming* (moderação de tráfego) pode reduzir em até 15% o número de pedestres feridos ou mortos em países desenvolvidos (BUNN et al., 2003). Exemplos de *traffic calming* são as ondulações transversais (lombadas), faixas de pedestre elevadas, refúgio em canteiro central, *danish offset* (uso de barreiras em canteiro central para direcionar e proteger os pedestres) e canalização de pedestres (RIBEIRO; CALHÃO, 2017).

Zegeer et al. (2009) levantam ações capazes de melhorar a segurança e a mobilidade de pedestres, sendo elas: a redução de velocidade dos veículos motorizados; redução do risco para pedestres em travessias; passarelas e calçadas

separando o tráfego de pedestres e de veículos automotores; conscientização e visibilidade entre veículos motorizados e pedestres; e melhoria de comportamento dos motoristas e dos pedestres. Tem-se como exemplo de melhoria da segurança do pedestre atrelada ao uso do solo a implementação de ciclos semafóricos diferentes em interseções para veículos convergindo à esquerda, ajudando a reduzir atropelamentos e sinistros com veículos seguindo em linha reta (OPAS, 2013).

Um exemplo de medidas públicas para maior segurança no trânsito é a cidade de Salvador. Em 2013 foi implementado o Programa Vida no Trânsito (PVT), uma iniciativa do Ministério da Saúde do Brasil, em parceria com a Organização Pan-americana da Saúde (OPAS/OMS no Brasil), com o objetivo de diminuir sinistros que causam mortes e lesões graves. Através de ações de controle de álcool no sangue nas principais avenidas da cidade, obras de infraestrutura para melhorar a segurança e reduzir a velocidade e ações de educação em segurança viária, em 2017 o número de mortes e lesões graves foi reduzido em 54% (OPAS, 2018).

#### **2.4.2 Interseções urbanas**

Nas interseções ocorre, de forma predominante, a travessia de pessoas e estes são considerados os locais mais confusos da malha viária urbana devido à convergência de fluxo de veículos e pedestres. Além disso, possuem características que distraem as pessoas, como grande número de comércios (ambulantes ou não) e presença de diversos equipamentos públicos, como lixeiras, postes e telefones públicos (NÉSPOLI, 2012). Nestes locais também há aumento do número de conflitos tanto veículo-veículo quanto veículo-pedestre, aumentando a chance de sinistros (SAYED; ZEIN, 1999).

O Guia Global de Desenho de Ruas aponta que devem ser adotadas estratégias para reduzir conflitos e garantir espaços seguros aos usuários, tais como: cruzamentos compactos e de geometria simplificada; aumento do espaço do pedestre; análise dos cruzamentos como uma rede e não de forma individual; utilização de semáforos para tratar questões de lentidão e congestionamento; considerar os usuários mais vulneráveis ao projetar (NACTO E GDCl, 2013).

Ao analisar os cruzamentos típicos de uma cidade, considerando todos os seus aspectos físicos e os tipos de sinalização para veículos e para pedestres, Néspoli (2012) constatou que os pedestres encontram 52 configurações diferentes possíveis para cruzar a via, enquanto os automóveis têm 11. Além disso, interseções que permitem curvas à esquerda são especialmente mais perigosas pois os veículos muitas vezes a iniciam no mesmo instante ou pouco depois que os pedestres atravessam a via, gerando conflitos (CHENG et al., 2014). Como a sinalização é uma forma de comunicação, orientando as pessoas no espaço urbano, esta deve ser revisada no intuito de estabelecer regras mais simples e fáceis (NÉSPOLI, 2012).

O tempo semafórico tem grande relevância na redução de atropelamentos e conflitos quando se trata de interseções (KHISTY, 1994). A depender do tempo de espera, é possível uma pessoa atravessar uma via quando as luzes semafóricas para veículos estão verdes ou amarelas por impaciência, aumentando o risco de sinistro (PAPADIMITRIOU; YANNIS; GOLIAS, 2009; TIWARI et al., 2007). É recomendado que os tempos de sinal vermelho sejam reduzidos para evitar pedestres atravessando em tempo inadequado (YANG; SUN, 2013), sendo ideais ciclos semafóricos entre 60 e 90 segundos para que minimize atrasos e crie oportunidades de travessia de pedestres em menores intervalos (NACTO E GDCl, 2013).

Além disso, vale ressaltar a existência de usuários com mobilidade reduzida, como idosos, pessoas com deficiência e pais acompanhados de crianças, os quais demandam maior tempo para concluir a travessia de forma segura (BENNETT; FELTON; AKÇELIC, 2001). O tempo e velocidade reais de deslocamento de usuários mais vulneráveis devem ser ponto de partida para definição de ciclos semafóricos e para projetar cruzamentos (NACTO E GDCl, 2013).

Através de uma pesquisa realizada em Belo Horizonte, Gualberto (2016) identificou a velocidade média de 1,28 m/s para travessia de pedestres e as velocidades médias de 1,07 m/s e 0,93 m/s para idosos e deficientes, respectivamente, que são menores que a velocidade de 1,22 m/s usada como base para programação semafórica em diversas cidades do mundo. O menor valor encontrado por Gualberto (2016) para velocidade dos pedestres foi de 0,43 m/s, o qual foi utilizado para cálculo do tempo de verde ideal. Todavia esse valor vai contra o estabelecido pela NBR9050:2020. A norma define uma velocidade máxima de 0,40

m/s para cálculo de tempo mínimo de travessia, adequado à marcha de pessoas com mobilidade reduzida (ABNT, 2020a).

Segundo o *Working Paper* “Belo Horizonte em uma Década de Ação pela Segurança no Trânsito”, que visa analisar o desempenho do Projeto Vida no Trânsito (PVT), idealizado pela OMS e desenvolvido pela OPAS, os resultados alcançados foram expressivos. O número de mortos por sinistro de trânsito na capital caiu 54% de 2011 para 2020, ultrapassando a meta mundial de redução de 50% na Primeira Década de Ação pela Segurança da ONU (CADURIN, 2022). Houve também redução de 35% no número de feridos graves no período. Pedestres lideram o número de mortos seguidos por ocupantes de moto e em número de feridos o cenário se inverte, tendo os ocupantes de motos como principais vítimas (CADURIN, 2022).

Ainda que com resultados satisfatórios, também foram identificados gargalos no PVT em Belo Horizonte, sendo um deles relacionado às análises dos dados. Segundo Cadurin (2022), as análises de sinistros de trânsito têm melhorado ao longo dos anos mas ainda requerem uma estrutura permanente que permite avaliar as intervenções realizadas no tráfego. Assim pode-se pontuar a importância dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), desde seu desenvolvimento, aplicação e contínuo aprimoramento.

### **2.4.3 Sistemas de Informações Geográficas**

Os SIG são imprescindíveis para uma adequada gestão das infraestruturas e serviços (GARCÍA et al., 2006). Além disso, são imprescindíveis para estudar os sinistros de trânsito, uma vez que através desse consegue-se relacionar os dados (atributos) dos sinistros com suas respectivas localizações (SANTOS; JUNIOR, 2006). Dessa forma, a estatística e os componentes de análise espacial viram ferramentas dos estudos de segurança viária (SANTOS; JUNIOR, 2006).

Em diversos lugares do mundo os SIG tem sido amplamente utilizados para planejamento de rotas de transportes, gerenciamento de pavimentos e manutenção de postes, todavia as análises de sinistros de tráfego têm um potencial de aplicação dos SIG além do que é atualmente explorado (PEÑA; GOLDNER, 2012).

Reinhold (2006) utiliza um SIG que analisa os fatores de segurança viária – atropelamentos, percepção de riscos e conflitos existentes – em uma região a fim de determinar o melhor local para implantar faixas de pedestres em trechos críticos. Peña e Goldner (2012) utilizam um SIG para analisar os sinistros de trânsito em interseções de rodovias federais em Santa Catarina e compreender as relações entre os tipos de sinistros ocorridos naqueles locais e as características físico-operacionais.

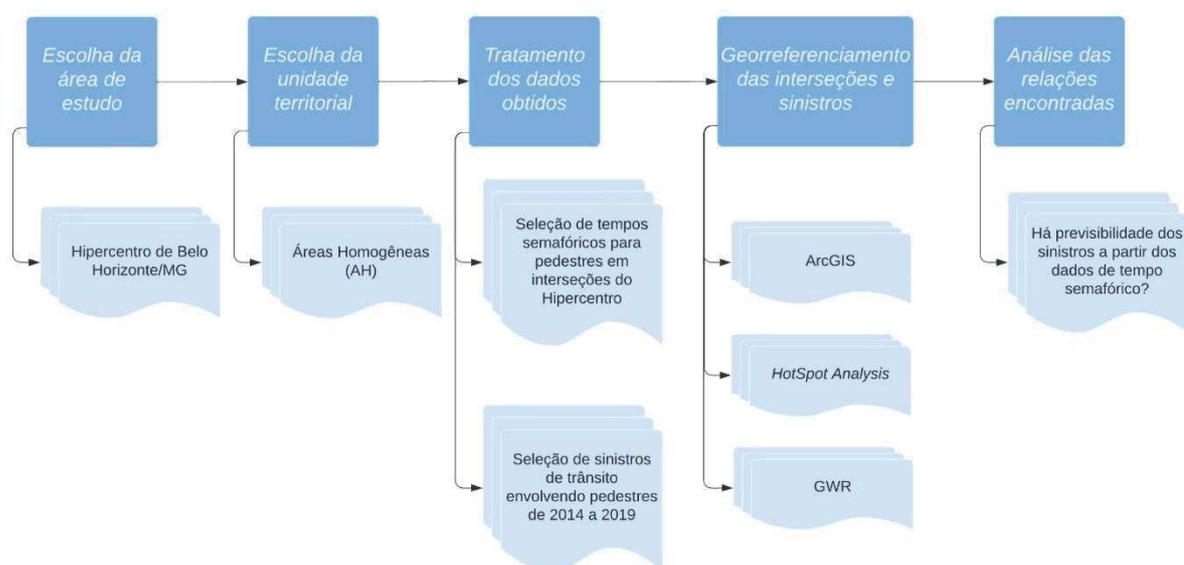
### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Etapas do trabalho

Neste trabalho, pretende-se analisar as relações entre a velocidade de travessia do pedestre em interseções e o número de sinistros ocorridos nessas interseções, para tanto, foi organizado em 5 seguintes etapas. A primeira etapa consistiu na definição e delimitação da área a ser estudada, considerando os altos índices de sinistros envolvendo pedestres. Em seguida, foi necessário escolher as unidades territoriais utilizadas para análise. A unidade territorial escolhida foi a Área Homogênea (AH), que é a menor unidade espacial de coleta, permitindo analisar o movimento de grupos e suas relações com transformações sócio espaciais (LESSA, 2019).

Em posse dos dados necessários (número de sinistros envolvendo pedestres por interseção semaforizadas e tempo semafórico para pedestre), foi realizado o tratamento desses, filtrando aqueles referentes às interseções da área de estudo e selecionando os tempos semafóricos de pedestres nas interseções semaforizadas do Hipercentro. Foi realizado mais um filtro nos dados obtidos com a BHTRANS, selecionando apenas os referentes a sinistros que envolvem pedestres nos seis anos analisados, de 2014 a 2020.

A partir da ferramenta ArcGIS, realizou-se análise *HotSpot* das variáveis consideradas e o georreferenciamento das interseções e dos sinistros referentes ao Hipercentro. Foi feita análise da relação entre os dados utilizados, verificando a relação de predição de sinistros baseado nos tempos de travessia dos pedestres, os quais foram convertidos em velocidade utilizando as larguras de travessia de cada interseção. Foi aplicado o modelo local GWR – Regressão Geograficamente Ponderada. A Figura 1 apresenta um fluxograma com as etapas realizadas na pesquisa.



**Figura 1– Fluxograma com as etapas do trabalho. Autoria própria.**

### 3.2 Apresentação da área de estudo

Belo Horizonte foi inaugurada em 1897 e planejada pelo engenheiro Aarão Reis. A área planejada está dentro da delimitação da Avenida do Contorno e, fora dessa área, ocorre a urbanização desordenada. A cidade foi criada para ser a capital de Minas Gerais e a escolha dessa localização teve grande influência política e tinha como objetivo concentrar as atividades político-administrativas do estado (FILHO et al., 2015; PAIVA, 2019)

A maioria das tentativas de apresentação da formação da cidade de Belo Horizonte tem sua origem com o ato (do político) e o plano (do engenheiro). É dessa mistura de técnica e política que surge a cidade: de um ato político e republicano de decisão de retirada da capital das Minas Gerais de Ouro Preto e transferência para um novo local; e de um plano técnico e positivista, de decisão de produção de um espaço concebido para ser controlado pelo Estado e para receber o ‘homem-funcionário’ (AMARAL, 2015, p. 143).

O projeto da capital a dividia em 27 triângulos, posteriormente chamados de seções e a partir disso foram definidas as zonas urbanas, suburbanas e rural, cada

qual com seu papel a ser desempenhado na dinâmica da cidade (BELO HORIZONTE, 2014). O layout da cidade é geométrico, com a superposição de dois sistemas: ruas em 90°, cortadas por avenidas em 45°, como ilustra a Figura 2.



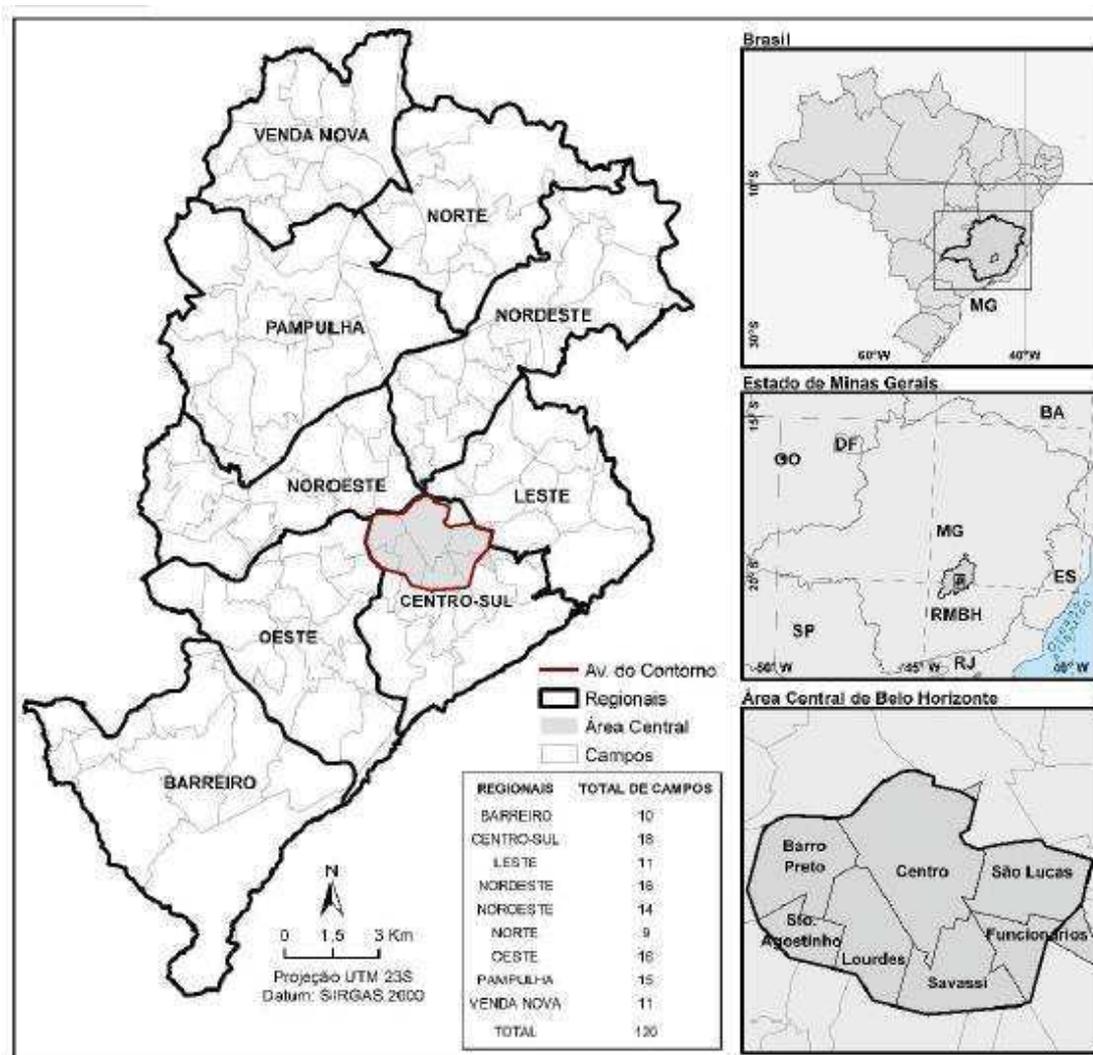
**Figura 2 - Projeto de Belo Horizonte realizado pelo engenheiro civil Aarão Reis, aprovada pelo decreto nº 817 de 15 de abril de 1895 (APM, 1895).**

A zona urbana era delimitada pela então Avenida 17 de Dezembro, hoje Avenida do Contorno, sendo este o núcleo central da cidade. A zona suburbana cerca a zona urbana como um “cinturão” e, ao redor dessa, estava a zona rural com sítios e pequenas lavouras que produziam para a capital (BELO HORIZONTE, 2014).

Comparando a planta de Belo Horizonte com as plantas de Washington (EUA) e La Plata (Argentina), se encontram muitas similaridades, porém “essas cidades têm um traçado em xadrez com as avenidas e ruas cruzando-se em linha reta. Aarão Reis optou por traçado em diagonal, dando a característica ímpar à nova capital de Minas” (SILVA, 1991).

Atualmente, a RMBH é dividida em nove Regionais Administrativas, as quais são subdivididas em 120 Campos, segundo a Pesquisa OD/RMBH de 2012. A Área Central está inserida na Regional Administrativa Centro-Sul, é delimitada pela Avenida

do Contorno e possui sete Campos: Barro Preto, Centro, Santo Agostinho, Lourdes, Savassi, Funcionários e São Lucas, conforme ilustra a Figura 3.



**Figura 3 - Divisão da Região Metropolitana de Belo Horizonte por Regionais Administrativas e Área Central da cidade (LESSA, 2019).**

### 3.2.1 O Hipercentro de Belo Horizonte

A região foco do estudo é o Hipercentro de Belo Horizonte, representado na Figura 4 a seguir. O Hipercentro da capital mineira tem grande importância econômica e social, além de localização estratégica, contando com a presença de grandes corredores como a Avenida Amazonas, Avenida Afonso Pena e Avenida Augusto de

Lima. Além disso, o fluxo de pedestres e veículos é intenso ao longo do dia e é a região com maior número de semáforos na cidade.



**Figura 4 - Hipercentro de Belo Horizonte. Autoria própria a partir de Google Earth, 2022).**

Existem 111 interseções semaforizadas no Hipercentro de Belo Horizonte, porém seis dessas foram excluídas da análise do presente estudo por apresentarem programações semaforizadas inconsistentes com a configuração viária nas planilhas obtidas e/ou por não ser possível obter as larguras das faixas de travessia dos pedestres de forma remota. Outros motivos para a exclusão foram a localização no limite da área de estudo e os baixos índices de sinistros. Tais interseções, no período de análise – 2014 a 2020 – passaram por obras e alterações nas vias, podendo ocasionar em resultados não condizentes com a realidade. As interseções excluídas foram:

- Rua São Paulo / Rua Oiapoque;
- Avenida do Contorno / Rua Paulo de Frontin;
- Avenida Olegário Maciel / Rua Paulo de Frontin;
- Avenida do Contorno / Rua Curitiba;
- Avenida do Contorno / Rua 21 de Abril;

- Avenida do Contorno / Rua Araguari.

Além disso, vale ressaltar a pandemia da Covid-19, que teve início em 2020, alterou os hábitos da sociedade com o isolamento social fazendo com que os dados de sinistros desse ano apresentem considerável diferença em relação aos demais anos.

As interseções entre avenidas e ruas da região central de Belo Horizonte são compostas pelo cruzamento de três vias e contam com altos índices de conflitos entre pedestres e veículos. Dessa forma, tais interseções receberam intervenções ao longo dos anos no intuito de diminuir as consequências desses conflitos. O Plano de Reabilitação do Hipercentro de Belo Horizonte (BELO HORIZONTE, 2007) determinou a requalificação de vias priorizando o deslocamento a pé – vias de pedestre – e vias onde se mantém a prioridade do deslocamento de pedestres. A fim de ter uma rede viária mais segura e confortável, até 2010, foram reconfigurados 40 trechos de 13 ruas a área central (BELO HORIZONTE, 2007).

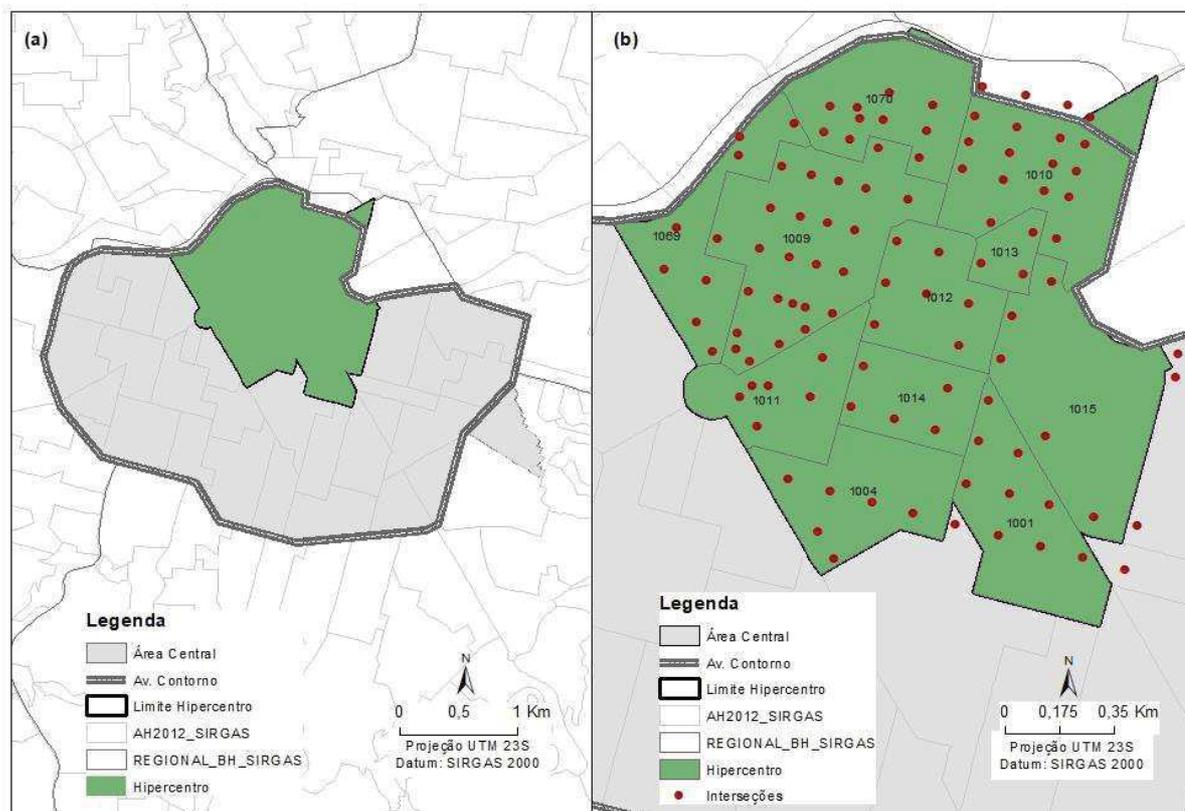
O Plano Diretor de Belo Horizonte (2019) define que todas as vias da região central sejam vias arteriais, assim, o presente trabalho não levou em consideração a classificação das vias uma vez que esse critério não interferiria nos resultados.

### **3.3 Escolha de unidade territorial**

Dá-se o nome de Área Homogênea (AH) à menor unidade espacial de coleta, a qual engloba um conjunto de setores censitários agregados, definidos pelos Censos Demográficos. Os conjuntos de AHs podem ser classificados em Campos; subcomplexos diferenciados de Campos; complexos diferenciados de Campos; e macrounidades (MINAS GERAIS, 2012). O Campo é o primeiro nível de agregação das AHs, sendo considerado adequado para retratar condições sociais e econômicas locais e cujo conceito se aproxima do que constituiria um bairro ideal (MINAS GERAIS, 2012).

O trabalho foi desenvolvido no Hipercentro (Figura 5a), parte do Campo Centro, uma vez que, como ilustram os anexos B e C – mapas de calor que exibem a quantidade e distribuição espacial de sinistros que envolvem mortos e feridos graves,

respectivamente – essa é a área que apresenta maior incidência de sinistros de trânsito na capital (CADURIN, 2022). O Hipercentro conta com 11 Áreas Homogêneas, sendo elas 1001, 1004, 1009, 1010, 1011, 1012, 1013, 1014, 1015, 1069 e 1070 conforme apresentado na Figura 5b.



**Figura 5 - (a) Região Central e a localização do Hipercentro de Belo Horizonte e (b) Divisão do Hipercentro em Áreas Homogêneas (AH) com as interseções analisadas. Autoria própria.**

### 3.4 Tratamento de dados

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados três principais grupos de dados: relação de interseções semaforizadas, tempo semafórico para travessia do pedestre nas interseções e o número de sinistros de trânsito ocorridos nas interseções entre 2014 e 2020. Todos os dados foram fornecidos pela BHTRANS – Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte.

Os dados de tempo semafórico foram fornecidos em planilha de Excel contendo:

- Código de cada semáforo;
- Localização (ruas que interceptam, latitude e longitude);
- Tempo para pedestres de luz verde e de vermelho piscando;
- Presença ou não de radar de avanço, botoeiras e sinais sonoros;
- Número de faixas;
- Largura da via;
- Número de aproximações para cada semáforo em cruzamento listado.

Esse primeiro banco de dados foi filtrado de forma a selecionar os tempos de luz verde para travessia de pedestres em interseções semaforizadas e a largura de suas respectivas vias, sendo essa a distância de travessia. Assim, calculou-se a velocidade de travessia de cada interseção, uma vez que utilizar o tempo de travessia como medida de comparação não permite uma análise coerente já que, de forma geral, vias mais largas exigem maior tempo de travessia do que vias mais estreitas. Os valores de velocidade encontrados foram comparados com a velocidade ideal definida na ABNT NBR 9050:2020 de 0,4 m/s.

Os dados de número de sinistros e semáforos existentes na área central da capital foram disponibilizados pela BHTRANS e compatibilizados por Daniel Oliveira, aluno do Programa de Pós-Graduação em Transporte e Geotecnia da UFMG, que também utiliza desses dados para sua pesquisa. O segundo tratamento de dados foi selecionar o número de sinistros de trânsito envolvendo pedestres por interseção semaforizadas do Hipercentro no período de 2014 a 2020.

### **3.5 Georreferenciamento das interseções**

O georreferenciamento das interseções e do número de sinistros foi realizado através do *software* ArcGIS e, então, realizou-se análises *HotSpot* e aplicou-se o modelo GWR. Para tal, adotou-se como variável dependente o número de sinistros em interseções semaforizadas e como variável independente a velocidade do pedestre para travessia nessas interseções.

### 3.5.1 Análise *HotSpot*

A ferramenta funciona com a análise de cada feição dentro do contexto da vizinhança. Assim, para um *hot spot* ser estatisticamente significativo, a feição deverá apresentar um alto valor e as feições no entorno, também (ARCGIS, 2018). Assim, localiza as unidades territoriais com altos valores (*hot spots*) ou baixos valores (*cold spots*). Considerando os resultados da *Hot Spot Analysis*, é possível verificar dois coeficientes estatísticos: *p-value* e *Z score*. O valor P (*p-value*) diz respeito à probabilidade de um padrão espacial observado ter sido criado por algum processo aleatório. Quando o valor de *p-value* é muito pequeno, significa que é muito improvável que o padrão espacial observado seja resultado de processos aleatórios, logo, os dados apresentam um padrão estatístico.

O valor de *Z score* representa o desvio padrão. Valores muito altos ou muito baixos para *Z score* associados a um valor baixo de *p-value* (baixa probabilidade) indicam que é improvável que o padrão espacial observado reflita o padrão aleatório. Ou seja, os dados fornecidos não apresentam um padrão aleatório, pelo contrário, apresentam agrupamento ou dispersão estatisticamente significativos. Para a ferramenta *Hot Spot Analysis*, valores extremos de *Z score* e valores baixos de *p-value* podem representar áreas quentes (*hot spot*) estatisticamente significativas ou áreas frias (*cold spot*) estatisticamente significativas.

### 3.5.2 A Regressão Geograficamente Ponderada

Modelos de regressão espacial com efeitos globais e locais tem grande importância nos estudos de transportes urbanos e regionais (CARVALHO et al., 2006) e, para o presente estudo, será utilizada a GWR, um modelo de regressão local desenvolvido por Brundson et al. (1996), que explora a não estacionariedade espacial, com base na análise de fenômenos que variam no espaço. A GWR ajusta um modelo de regressão para cada ponto no conjunto de dados, ponderando de acordo com a localização espacial dando maior influência aos pontos mais próximos ao ponto estudado do que os mais distantes (BRUNSDON; FOTHERINGHAM; CHARLTON, 1996; CARVALHO et al., 2006).

A GWR de Brunson et al. (1996) é representada pela Equação 1.

$$y_i = a_{0,i} + \sum_{k=1}^p a_{k,i} * x_{k,i} + \varepsilon_i \quad (1)$$

Sendo que:

- $y_i$ : estimativa de  $y$  (variável dependente) para um ponto  $i$ ;
- $a_{0,i}$ : intercepto local específico da localização  $i$ ;
- $a_{k,i}$ : valor do  $k$ -ésimo coeficiente angular local específico da localização  $i$ ;
- $x_{k,i}$ :  $k$ -ésima variável explicativa na localização  $i$ ;
- $\varepsilon_i$ : erros independentes.

A GWR utiliza do método de quadrados mínimos ponderados, no qual fatores de ponderação são aplicados em cada diferença ao quadrado antes da minimização, ponderando cada observação de acordo com sua proximidade ao ponto  $i$ . Os estimadores ponderados variam de acordo com a localização do ponto  $i$  em estudo pela variação de  $W$  e são representados pela Equação 2.

$$\hat{A}_i = (X^T \cdot W_i \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot W_i \cdot Y \quad (2)$$

Sendo:

- $\hat{A}_i$ : vetor dos coeficientes (intercepto e coeficientes angulares) para cada ponto  $i$ ;
- $X$ : matriz de observações das variáveis explicativas;
- $Y$ : vetor de observações da variável dependente (explicada).
- $W_i$ : matriz quadrada (Equação 3) cujos elementos da diagonal principal correspondem aos pesos de cada observação com relação ao ponto  $i$  e os demais elementos são nulos e  $w_{i,j}$  o peso atribuído à observação (ponto)  $j$  em relação ao ponto  $i$ .

$$W_i = \begin{bmatrix} w_{i,1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & w_{i,2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & w_{i,n} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Para calibrar a GWR e considerar pesos consistentes com a proximidade, exclui-se as observações que estejam mais distantes do ponto analisado do que uma determinada distância de influência ( $D_{influência}$ ), atribuindo a essas valores nulos. Assim, tem-se o sistema representado pela Equação 4.

$$w_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{se } d_{i,j} < D_{influência}, \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad \forall i, j \quad (4)$$

Sendo que:

- $d_{i,j}$  a distância entre os pontos  $i$  e  $j$ .

Considerando a Equação 1 e os objetivos do presente estudo, a variável dependente  $y_i$  representa o número de sinistros envolvendo pedestres entre 2014 2020 e a variável independente  $x_i$  representa a velocidade do pedestre na travessia da interseção analisado dentro da região do Hipercentro de Belo Horizonte. A velocidade foi obtida através das dimensões das larguras das travessias de cada interseção.

### 3.6 Análise das relações encontradas

Foram gerados cartogramas de *Hot Spot Analysis* para as duas variáveis levadas em consideração, permitindo análise estatística de cada uma e, depois, a relação entre elas. Realizado o georreferenciamento, foi realizada uma análise das relações encontradas entre o número de sinistros e a velocidade de travessia do pedestre, buscando entender quais as possíveis relações entre a ocorrência de sinistros e o

tempo destinado à travessia de pedestres. Através dessas análises, consegue-se subsidiar estudos e propostas de intervenção que visam mitigar os sinistros urbanos.

## 4 Resultados

### 4.1 Análise e interpretação dos dados de sinistros

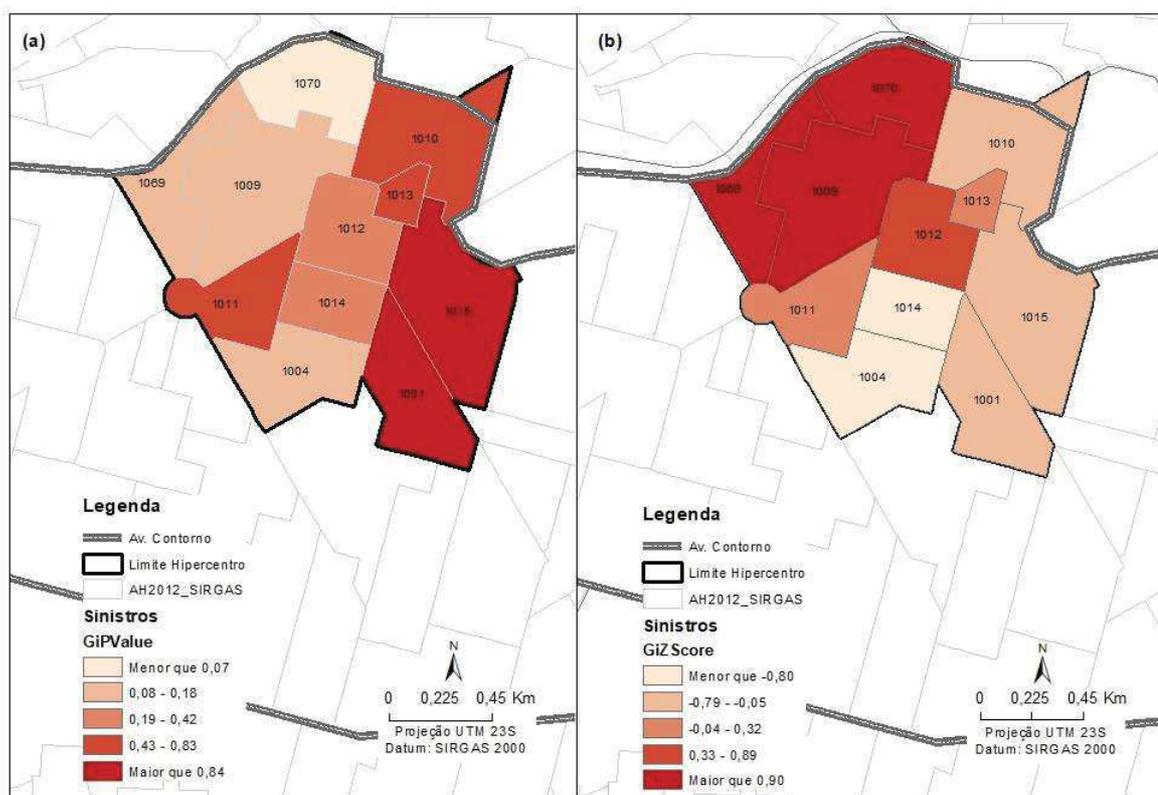
Ao analisar os dados obtidos por cada Área Homogênea (Anexo A), percebe-se que a interseção com maior número de sinistros foi entre a Avenida Afonso Pena e Rua São Paulo, pertencente à AH 1009, com um total de 65 sinistros entre 2014 e 2020. Essa Área Homogênea apresentou também o maior número de sinistros, totalizando 298, tendo 25 interseções semaforizadas analisadas e a maior área em km<sup>2</sup>.

A região compreendida pela AH 1009 abrange a Praça Rio Branco e a Rodoviária de Belo Horizonte, conta com a presença de estações da Rede MOVE que conectam diferentes regiões da cidade ao Centro, logo, o fluxo de pedestres, veículos motorizados individuais e coletivos é intenso. A Avenida Afonso Pena tem grande importância para Belo Horizonte, uma vez que atravessa vários bairros da cidade, sendo um corredor de passagem para diferentes destinos. Além disso, a Avenida Afonso Pena possui seis faixas de passagem de veículos, sendo três em cada sentido, fazendo com que a distância de travessia do pedestre seja maior.

De forma geral, em cada AH, as interseções com maiores números de sinistros com pedestres são aquelas que envolvem um maior número de avenidas da cidade (Avenida Afonso Pena, Avenida Amazonas, Avenida Bias Fortes, Avenida do Contorno e Avenida dos Andradas). Além das avenidas, algumas ruas se destacam nos altos índices de sinistros, como a Rua São Paulo, a qual possui duas das três interseções com maiores ocorrências de sinistros do Hipercentro. A Rua Caetés também apresenta altos índices. Ambas fazem interseções com avenidas.

Ao realizar as análises *HotSpot* para os dados de sinistros, obteve-se o cartograma da Figura 6. Como já mencionado, valores extremos de *Z score* associados a um valor baixo de *p-value* (baixa probabilidade) indicam que é improvável que o padrão espacial observado reflita o padrão aleatório. Assim, a Área Homogênea 1070 apresenta o menor valor de *p-value* e o maior valor de *Z score*, logo, nessa AH há um padrão na ocorrência de sinistros. Além dessa, as AH 1009 e 1069 apresentam baixos valores de *p-value* e valores muito altos de *Z score*, indicando também um padrão entre os dados analisados. Essas três AH indicam se tratar de

áreas quentes estatisticamente significativas (*hot spot*). A AH 1004 também possui baixo valor de *p-value* porém seu valor de *Z score* é baixo, indicando que não há padrão aleatório, logo, nessa área há relação estatística. As AH 1010, 1011 e 1013 apresentam valores de *p-value* mais altos, logo, a tendência é de que o padrão seja aleatório. As AH 1001 e 1015 têm alto valor de *p-value*, logo, maior probabilidade de os dados apresentarem padrão aleatório. As AH 1012 e 1014 têm valores mediados de *p-value* e valores altos e baixos para *Z score*, respectivamente, assim, não é possível encontrar um padrão se não o aleatório para essas áreas.

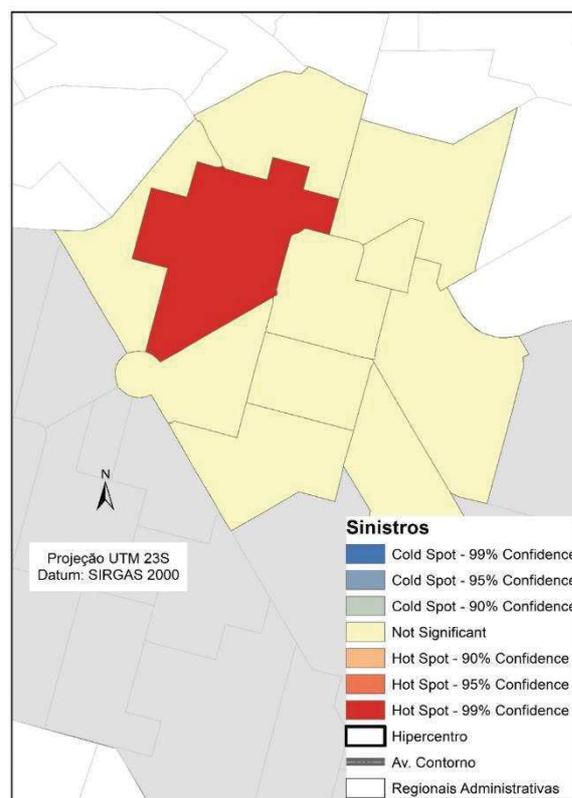


**Figura 6 - (a) Hot Spot Analysis: p-value para os dados de sinistros envolvendo pedestres e (b) Hot Spot Analysis: Z score para os dados de sinistros envolvendo pedestres. Autoria própria.**

As três áreas com maior significância estatística nas análises *HotSpot* foram 1009, 1069 e 1070. Essas áreas estão localizadas no limite Norte do Hipercentro, que é coincidente com o limite do Campo Centro e da Regional Centro-Sul, logo, cumpre papel de conectar diferentes regiões da cidade com a área central. Além disso, é nessa área que grandes avenidas conectam as Regionais localizadas ao norte

geográfico da capital à região central, como a Avenida Presidente Antônio Carlos – conectando as regionais Pampulha, Nordeste e Noroeste à Regional Centro Sul – e a Avenida Cristiano Machado – que tem origem no município de Venda Nova e passa pelas regionais Norte, Nordeste e Leste até chegar no Centro-Sul. Nesse mesmo sentido, pontua-se que as avenidas citadas também conectam o Anel Rodoviário à Regional Centro-Sul, fazendo com que o Hipercentro seja porta de entrada de intenso fluxo de veículos motorizados da Regional, além da Avenida dos Andradas que coincide com os limites do Campo Centro em considerável extensão.

Por fim, quando se observa os resultados finais da análise (Figura 7), corroborando os achados apresentados nos parágrafos anteriores, é possível identificar um *hot spot* muito bem delimitado de sinistros na área homogênea 1009. A AH 1009, inclusive, é a área que contempla a interseção com maior número de sinistros do Hipercentro.



**Figura 7 - Hot Spot Analysis para os sinistros. Autoria própria.**

## 4.2 Análise e interpretação dos dados de velocidade dos pedestres

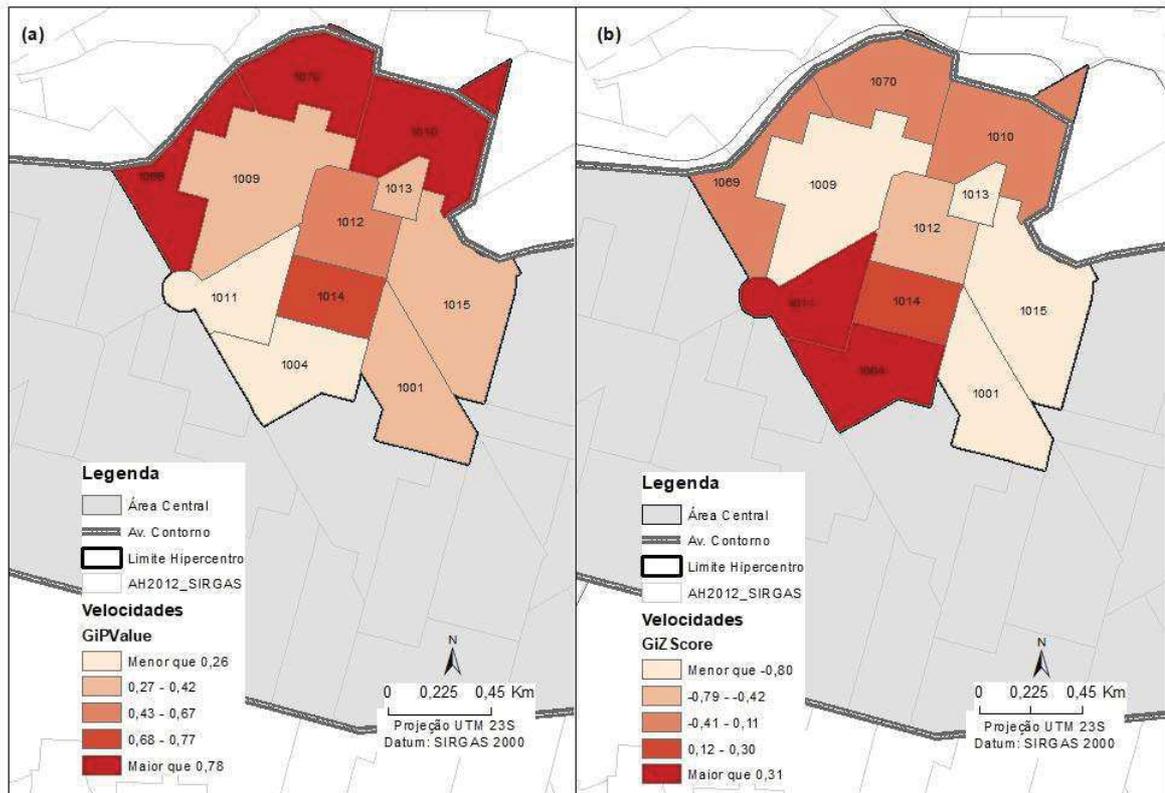
Como no tópico anterior para análise de sinistros, utilizou-se da *HotSpot Analysis* para compreender os dados de velocidade dos pedestres. Foram obtidos com a BHTRANS os dados de tempo de travessia para pedestre nas interseções analisadas, porém para análise os dados de tempo foram transformados em velocidade utilizando as distâncias de travessia de cada interseção. Como já mencionado, a NBR 9050:2020 define que se deve adotar uma velocidade máxima de 0,40 m/s para cálculo de tempo mínimo de travessia dos pedestres. O Anexo A reúne os dados de maior velocidade de travessia de cada interseção analisada, sendo esse o cenário extremo, no qual o pedestre tem que desenvolver maior velocidade para realizar a travessia.

Ao analisar os ciclos semaforicos, em 2019 a Prefeitura de Belo Horizonte reconfigurou os ciclos da região central para 90 segundos para melhor conforto dos pedestres. Quanto às velocidades, das 105 interseções analisadas, 56 têm velocidade máxima superior a 0,40 m/s. Dessa forma, apenas 46,7% das interseções do Hipercentro têm velocidade máxima igual ou inferior ao limite estabelecido por norma. Esse alto número de interseções com velocidades muito maiores que o estabelecido por norma (variando de 0,41 m/s a 1,08 m/s) é um ponto de preocupação quanto à segurança pois mostra que os pedestres precisam desempenhar velocidades extremamente altas para realizar a travessia. Assim, esses se encontram ainda mais vulneráveis e sujeitos a altos riscos de sinistros, em especial aqueles com mobilidade reduzida.

Analisando a Figura 8a e entendendo que baixos valores de *p-value* combinados com valores extremos de *Z score* apresentam estatísticas significativas para a análise, pode-se dizer que apenas as áreas 1004 e 1011 têm tais características. Essas possuem os menores valores de *p-value* e os maiores de *Z score*, o que as caracterizam como *hot spots* (áreas quentes estatisticamente significativas). Além dessas, as áreas 1001, 1009, 1013 e 1015 possuem valores baixos de *p-value* e baixos valores de *Z score*, logo, são consideradas *cold spots* (áreas frias estatisticamente significativas). Logo, existem dois *hot spots* e quatro *cold spots*, mais de 50% das áreas homogêneas com relevância estatística para os dados de velocidade.

Analisando o cartograma da Figura 8Figura 8b, os *hot spots* são as Áreas Homogêneas 1004 e 1011. Na AH 1004, a interseção da Avenida Bias Fortes com a Rua São Paulo apresentou maior velocidade igual a 0,94 m/s. Essa interseção compreende uma avenida de 4 faixas em cada sentido da via e uma rua de três faixas em sentido único. Além disso, a Rua Aimorés intercepta a Avenida Bias Fortes muito próximo a essa interseção, logo, há fluxo de veículos motorizados em diversos sentidos, tornando o pedestre ainda mais vulnerável tendo que percorrer maiores distâncias ao realizar uma travessia.

As interseções com os dois maiores valores de velocidade pertencem à Área Homogênea 1015, um *cold spot*. A interseção entre a Rua Carandaí, Rua Pernambuco e Avenida Professor Alfredo Balena (AH 1015) tem a maior velocidade, com 1,08 m/s, e se difere da grande maioria por compreender três ruas se cruzando, logo, os pedestres estão sujeitos a riscos em diferentes direções. A fim de amenizar os riscos aos pedestres, devido ao tamanho da interseção, essa possui três canteiros centrais que servem como pontos de apoio ao realizar a travessia. Devido à geometria dessa interseção, para realizar uma travessia é necessário passar por até quatro faixas de pedestre diferentes, logo, maior distância e maior o tempo de deslocamento, deixando o pedestre impaciente e assim mais propenso a desrespeitar os sinais de trânsito e realizar a travessia em locais ou momentos incorretos.

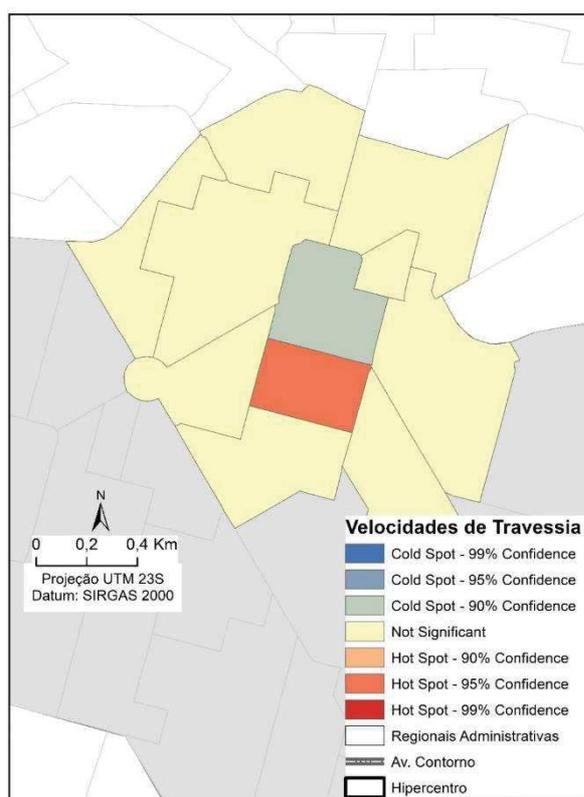


**Figura 8 - (a) Hot Spot Analysis: p-value para os dados de velocidade de travessia de pedestres e (b) Hot Spot Analysis: Z score os dados de velocidade de travessia de pedestres. Autoria própria.**

A interseção entre a Avenida dos Andradas e a Rua dos Tupinambás (AH 1015) apresentou a segunda maior velocidade, com 1,02 m/s. A Avenida possui cinco faixas para veículos motorizados em cada sentido e um canteiro central, servindo de apoio para os pedestres; a Rua Tupinambás tem sentido único e quatro faixas para veículos. Ambas as ruas possuem faixas de pedestre apenas no sentido transversal, não apresentando faixas diagonais, as quais ajudam a evitar os conflitos entre pedestres e veículos e permitem que o pedestre atravessasse o cruzamento em todas as direções ao mesmo tempo, em uma fase exclusiva de semáforo.

Por fim, quando se observa os resultados finais da análise (Figura 9), corroborando os achados apresentados nos parágrafos anteriores, é possível identificar um *hot spot* na AH 1014 e um *cold spot* na AH 1012, porém estatisticamente menos significativo do que para os Sinistros. Nesse sentido, as análises individuais das variáveis Sinistros e Velocidades de Travessias apresentam um padrão espacial

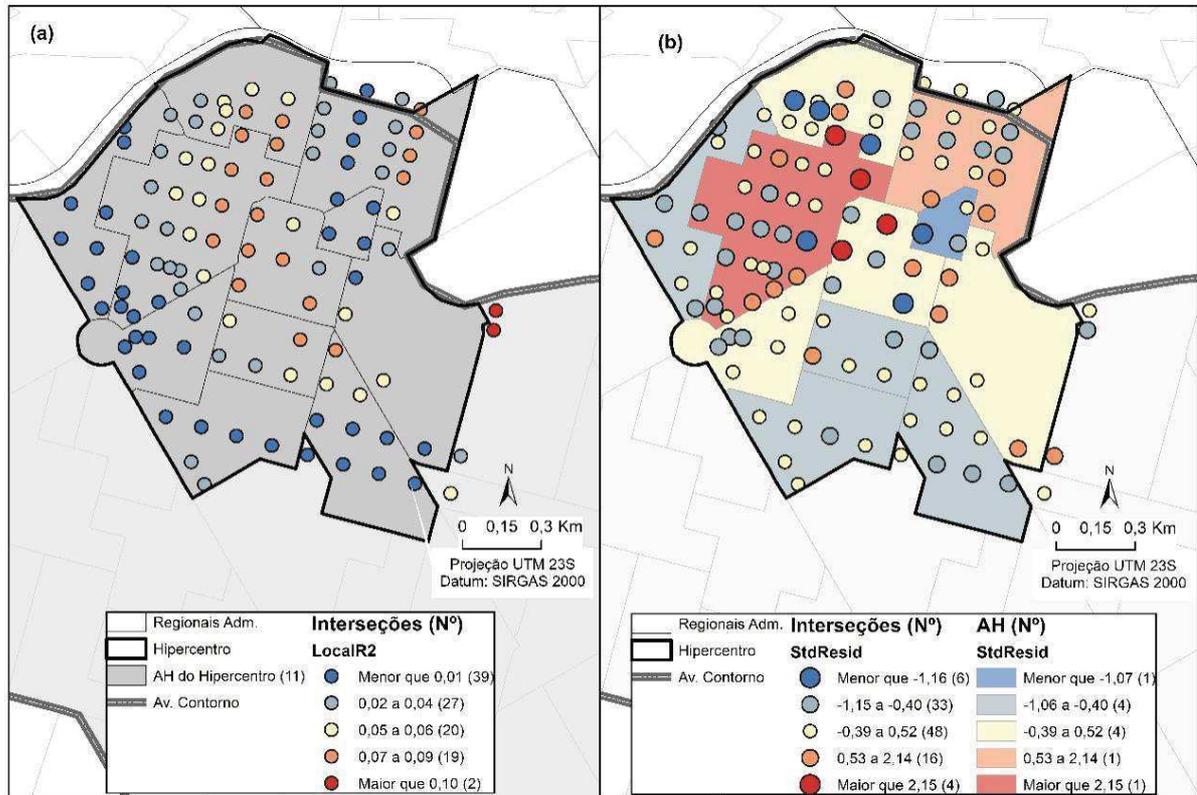
bem definido, porém com concentração de valores elevados em áreas homogêneas distintas. Nesse sentido, é possível considerar que a *Hot Spot Analysis* oferece pistas para os possíveis resultados do GWR e abre espaço para discussões acerca do planejamento da circulação na *core area* em investigação e para a tomada de decisões estruturais relativas às medidas de prevenção de sinistros, principalmente aqueles envolvendo pedestres e medidas que visem a qualidade e a segurança dos deslocamentos a pé nos centros urbanos.



**Figura 9 - *Hot Spot Analysis* para as velocidades de travessia de pedestres.**

**Autoria própria.**

### 4.3 Análise da GWR



**Figura 10 - (a)  $R^2$  local para as interseções do Hipercentro e (b) Resíduos padronizados para interseções e AHs do Hipercentro. Autoria própria.**

O  $R^2$  local é um parâmetro estatístico que avalia o ajuste realizado; quanto maior o seu valor, melhor ajustado está o modelo. Analisando a Figura 10a, o  $R^2$  local apresenta valores muito baixos, impossibilitando afirmar que há relação de predição através dos valores de velocidade de travessia dos pedestres. Apenas duas interseções apresentam melhor ajuste, com valores maiores que 0,10, estando localizadas na extremidade da AH 1015, no limite com outro Campo do Hipercentro. Além dessas, as 19 interseções com valores entre 0,07 e 0,09 se encontram, em sua maioria, próximas à Avenida Afonso Pena, mais ao centro da área do Hipercentro, ou seja, ali o modelo está melhor ajustado em relação às demais. Maior parte dos valores, 39 interseções, são menores que 0,01 e 27 estão entre 0,02 e 0,04. Um fator que influencia os índices expressivamente baixos foi realizar a regressão para cada local (interseção).

A Figura 10b apresenta os resíduos para as interseções e para as Áreas Homogêneas. Esses valores são a diferença entre os valores de  $y$  ajustados pelo modelo e os valores observados. Os valores em vermelho representam locais em que a previsão de valor foi maior que o valor observado (erro positivo). Em azul tem-se os locais em que a previsão foi inferior ao valor observado (erro negativo). As interseções em que os erros foram além do previsto estão localizadas nas AH 1009 e 1012, mais precisamente na Avenida Afonso Pena e na Avenida Amazonas, próximo à Praça Sete de Setembro.

Essas duas AH apresentaram altos valores de sinistros e, quando se analisam os dados residuais para Áreas Homogêneas, a 1009 destaca-se como a única do Hipercentro a apresentar valor superior a 2,15. É nessa AH onde está a interseção com maior número de sinistros do Hipercentro. Além disso, na grande maioria de suas interseções, as velocidades desenvolvidas pelos pedestres são superiores aos 0,40 m/s estabelecidos em norma. As AH com baixos valores residuais (1001, 1004, 1013, 1014 e 1069) apresentam os menores índices de sinistros em todo Hipercentro. Essas áreas também apresentam considerável número de interseções com baixos valores residuais ou resíduos padronizados (próximos de zero).

Ao cruzar as análises dos dados de sinistros, velocidades e GWR, encontra-se que a AH 1012, *cold spot* de velocidades, apresenta valores altos para  $R^2$  local e os resíduos para a Área Homogênea são padronizados, mostrando que essa área apresenta padrões bem definidos e o modelo foi capaz de prever seus dados de forma considerável. De forma geral, os erros tanto para interseções quanto para AH são, em maior parte, residuais, ou seja, o modelo foi capaz de prever grande parcela dos dados observados. Porém há considerável quantidade de interseções e áreas que tendem a erros negativos (valor previsto inferior ao observado) e aquelas que tendem a erros positivos (valor previsto superior ao observado) são a minoria.

#### 4.4 Resumo das análises

ÁREA HOMOGÊNEA	ANÁLISES
1004	<p>Análise <i>HotSpot</i> de sinistros: baixo valor de <i>p-value</i> porém seu valor de <i>Z score</i> é baixo, indicando que não há padrão aleatório, logo, nessa área há relação estatística.</p> <p>Análise <i>HotSpot</i> de velocidade: baixo valor de <i>p-value</i> e valor extremo de <i>Z score</i> (área quente significativamente estatística)</p>
1009	<p>Maior índice de sinistros (298 ocorrências).</p> <p>Análise <i>HotSpot</i> de sinistros: baixo valor de <i>p-value</i> e valor alto de <i>Z score</i>, representa um <i>hot spot</i> de sinistros muito bem delimitado.</p> <p>Análise da GWR: área homogênea e interseções com os maiores valores residuais.</p>
1011	<p>Análise <i>HotSpot</i> de velocidade: baixo valor de <i>p-value</i> e valor extremo de <i>Z score</i> (área quente significativamente estatística)</p>
1012	<p>Análise <i>HotSpot</i> de velocidade: apresenta um <i>coldspot</i> estatisticamente significativo.</p> <p>Análise da GWR: valores altos para <math>R^2</math> local, resíduos são padronizados, apresentando padrões bem definidos.</p>
1014	<p>Análise <i>HotSpot</i> de velocidade: apresenta um <i>hotspot</i> estatisticamente significativo.</p>
1015	<p>Análise <i>HotSpot</i> de velocidade: valores baixos de <i>p-value</i> e baixos valores de <i>Z score</i>; abrange as duas interseções com os maiores valores de velocidade de pedestre.</p>

	Análise da GWR: Possui duas interseções com os maiores valores de $R^2$ Local.
1069	Análise <i>HotSpot</i> de sinistros: baixo valor de <i>p-value</i> e valor alto de <i>Z score</i> (áreas quentes estatisticamente significativas)
1070	Análise <i>HotSpot</i> de sinistros: menor valor de <i>p-value</i> e o maior valor de <i>Z score</i> , logo, há um padrão na ocorrência de sinistros.

## 5 Conclusão

Considerando o desenvolvimento da pesquisa e os resultados encontrados, foi possível aprofundar as análises de segurança de pedestre ao relacionar o tempo semafórico disponível para travessia com o número de sinistros no Hipercentro. Ao analisar os dados de sinistros e velocidades, foram encontrados alguns padrões como por exemplo as interseções que envolvem grandes avenidas da capital apresentam maiores números de sinistros ou que a maioria das interseções desrespeitam o limite de norma. Esse padrão encontrado possibilita pensar em pesquisas que considerem outras variáveis na previsão de sinistros, como a presença de avenidas nas interseções. Quando se evoluiu para a análise *Hot Spot*, considerando os dados de *p-value* e *Z score*, os resultados encontrados apresentaram padrões muito bem definidos: um *hot spot* de sinistros (1009); um *hot spot* de velocidades (1014) e um *cold spot* de velocidades (1012). Porém, esses *spots* foram encontrados em Áreas Homogêneas distintas, ou seja, os dados de sinistros e velocidades não dialogam nas AH do Hipercentro.

A análise GWR evidenciou valores muito baixos para  $R^2$  local, uma vez que foi realizada uma regressão para cada interseção. Para quatro das onze Áreas Homogêneas (1011, 1012, 1015, 1070), o modelo foi capaz de prever os dados observados, com resíduos padronizados. Assim, pode-se constatar que não é possível estabelecer um padrão de predição das variantes abordadas, já que o modelo encontrado não foi capaz de prever os dados de sete áreas do Hipercentro. Uma vez encontrado que não é possível prever a ocorrência de sinistros exclusivamente com os tempos de travessia, através das discussões levantadas, compreender as características das vias que se destacam pelo alto índice de sinistros permite novas reflexões quanto às novas variáveis que podem ser levadas em consideração para obter-se um modelo mais preciso.

Nesse sentido, abre-se uma nova reflexão também quanto às múltiplas causas de sinistros de trânsito envolvendo pedestres, para além dos dados de tempo de travessia, como fatores relacionados às vias e aos usuários. O comportamento humano tem peso na ocorrência desses sinistros e é imprevisível, o que dificulta a previsão de ocorrência, mas que deve ser em consideração nas análises.

Por fim, o estudo é capaz de subsidiar novas pesquisas de segurança de pedestres e também enfatiza a importância dos Sistemas de Informações Geográficas para as pesquisas na área de Transportes, permitindo análises estatísticas mais complexas e melhor desenvolvidas. Além disso, com os dados abordados, é possível apontar questões que demandam maior atenção por parte do poder público de Belo Horizonte no que tange a qualidade do caminhar e a segurança do pedestre no Hipercentro, como as velocidades superiores ao limitado por norma e o alto número de sinistros em interseções específicas.

### **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

- Realização do mesmo estudo para outros municípios com altos índices de sinistros envolvendo pedestres;
- Estudo dos sinistros em interseções do Hipercentro utilizando outras variáveis, como qualidade das vias e calçadas, geometria, o ambiente ao redor e horários do dia em que há maior ocorrência de sinistros para alcançar um modelo de previsibilidade mais preciso e, assim, subsidiar propostas de segurança viária;
- Estudo focado em vias que se destacaram pela alta ocorrência de sinistros, como as grandes avenidas e a Rua São Paulo, por exemplo, buscando entender quais fatores influenciam naquelas áreas em específico.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 9050:2020 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**: Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: 2020a.

ABNT. **NBR 10697:2020 - Pesquisa de Sinistros de Trânsito - Terminologia**: Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: 2020b.

AGUIAR, F. DE O. **Análise de métodos para avaliação da qualidade de calçadas**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 9 set. 2003.

AMARAL, M. C. DO. **A mobilidade da cidade aos espaços: espaço-tempo-corpo dos deslocamentos em Belo Horizonte**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

ANDRADE, V.; LINKE, C. C. **Cidades de Pedestres: a caminhabilidade no Brasil e no mundo**. Rio de Janeiro: Babilonia Cultura, 2017.

APM. **PLANTA GERAL DA CIDADE DE MINAS APM-104**. Sistema Integrado de Acesso do APM. Disponível em: <[http://www.siaapm.cultura.mg.gov.br/modules/grandes\\_formatos/brtacervo.php?cid=107](http://www.siaapm.cultura.mg.gov.br/modules/grandes_formatos/brtacervo.php?cid=107)>. Acesso em: 8 jan. 2022. 1895.

ARCGIS. **ArcGIS**. Disponível em: <<https://www.arcgis.com/index.html>>, 2018.

BELO HORIZONTE. **Plano de Reabilitação do Hipercentro de Belo Horizonte**. [s.l.] Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2007.

BELO HORIZONTE. **Anexo IV - Síntese da História de BH**. Disponível em: <[https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/politica-urbana/2018/planejamento-urbano/cca\\_anexo\\_iv\\_-\\_sintese\\_da\\_historia\\_de\\_bh.pdf](https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/politica-urbana/2018/planejamento-urbano/cca_anexo_iv_-_sintese_da_historia_de_bh.pdf)>. Acesso em: 8 jan. 2022.

BELO HORIZONTE. **Portaria BHTRANS DPR N.º 004/2019 DE 25 DE JANEIRO DE 2019**. [s.l.] Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura – BHTRANS, 2019.

BENNETT, S.; FELTON, A.; AKÇELIC, R. **Pedestrian movement characteristics at signalised intersections**. Em: 23RD CONFERENCE OF AUSTRALIAN INSTITUTES OF TRANSPORT RESEARCH. Melbourne, 2001.

BHTRANS. **Relatório de Sinistros de Trânsito com Vítimas em Belo Horizonte**. Belo Horizonte: Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte S/A - BHTRANS, ago. 2021.

BLIESNER, J.; BOUTON, S.; SCHULTZ, B. Walkable neighborhoods: An economic development strategy. **JB&F Consulting**, 2010.

BORGES, E. P. Revista Brasileira de Ensino de Física. **Irreversibilidade, Desordem e Incerteza: Três Visões da Generalização do Conceito de Entropia**, v. 21, n. 4, p. 453–463, 1999.

BRASIL. **GUIA DE REDUÇÃO DE ACIDENTES COM BASE EM MEDIDAS DE ENGENHARIA DE BAIXO CUSTO**: MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). Rio de Janeiro: [s.n.].

BRASIL. **Manual de Estudos de Tráfego**: Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro: [s.n.].

BRASIL. Lei nº 12.587 de 03 de janeiro de 2012. Lei da Mobilidade Urbana. . 3 jan. 2012.

BRASIL. Sustentabilidade urbana: Impactos do desenvolvimento econômico e suas consequências sobre o processo de urbanização em países emergentes. **Mobilidade Urbana**, v. 1, n. Ministério do Meio Ambiente e Ministério das Cidades, p. 156, 2015a.

BRASIL. Lei nº 13.146 de 06 de julho de 2015. Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência. . 6 jul. 2015 b, p. 31.

BRESSAN, G. G. **Um estudo sobre a caminhabilidade em área urbana na cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020.

BRUNSDON, C.; FOTHERINGHAM, A. S.; CHARLTON, M. E. Geographical Analysis. **Geographically Weighted Regression: A Method for Exploring Spatial Nonstationarity**, v. 28, n. 4, p. 281–298, 1996.

BUNN, F. et al. Traffic calming for the prevention of road traffic injuries: systematic review and meta-analysis. **Injury Prevention: Journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention**, v. 9, n. 3, p. 200–204, set. 2003.

BURDEN, D. Building communities with transportation. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 1773, p. 5–20, 2001.

CADURIN, L. D. P. **Demanda potencial para um sistema de compartilhamento de bicicletas pedelecs: O caso de um campus universitário**. Mestrado em Ciências—São Carlos: Universidade de São Paulo, 2016.

CADURIN, L. D. P. **Belo Horizonte em uma Década de Ação pela Segurança no Trânsito - Working Paper**. São Paulo: Instituto Cordial, 2022. Disponível em: <<https://institutocordial.com.br/painelsegurancaviaria/>>. Acesso em: 8 jun. 2022.

CARDOSO, L. **Transporte público, acessibilidade urbana e desigualdades socioespaciais na Região Metropolitana de Belo Horizonte**. Doutorado em Organização do Espaço do Programa de Doutorado do Instituto de Geociências—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

CARVALHO, L. E. X. et al. Regressão linear geograficamente ponderada em ambiente SIG. **TRANSPORTES**, v. XIV, n. 2, p. 18–26, 2006.

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

CERVERO, R. Linking urban transport and land use in developing countries. **Journal of Transport and Land Use**, v. 6, n. 1, p. 7–24, 10 abr. 2013.

CHENG, W. et al. Discrete Dynamics in Nature and Society. **Modeling and Application of Pedestrian Safety Conflict Index at Signalized Intersections**, 2014.

COSTA, M. S. **Um índice de mobilidade urbana sustentável**. Doutorado em Engenharia Civil—São Carlos: Universidade de São Paulo, 2008.

COSTA, R. G.-R.; CLAUDIA, G. T. DA S.; SIMONE, C. C. Cadernos MetrÓpole. **A origem do caos – a crise de mobilidade no Rio de Janeiro e a ameaça à saúde urbana**, v. 15, n. 30, p. 411–431, 2013.

CUNHA, J. M. P. DA. Planejamento municipal e segregação socioespacial: por que importa? Em: BAENINGER, R. (Ed.). . **População e cidades: subsídios para o planejamento e para as políticas sociais**. Campinas: UNICAMP, 2010. p. 65–78.

DE SOUZA, L. T. A. **(MICRO)MOBILIDADE POR PATINETES ELÉTRICOS E O AMBIENTE CONSTRUÍDO: PROPOSIÇÃO DE UM ÍNDICE DE PATINETABILIDADE**. Mestrado em Geotecnia e Transportes—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2021.

DIAS, J. A. **Influência do ambiente urbano na escolha do transporte ativo e sua relação com o sedentarismo**. Mestrado em Geotecnia e Transportes—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2020.

EWING, R.; CERVERO, R. Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis. **Journal of the American Planning Association**, v. 76, n. 3, p. 265–294, 21 jun. 2010.

FALAVIGNA, C.; RODRIGUES, T. G.; HERNANDÉZ, D. Mobilidade Justa Socialmente. Em: PORTUGAL, L. D. S. (Ed.). . **Transporte, mobilidade e desenvolvimento urbano**. Rio de Janeiro: [s.n.]. p. 219–242.

FILHO, J. B. M. T. et al. Estrutura produtiva e mercado de trabalho na Região Metropolitana de Belo Horizonte: formação histórica e perspectivas contemporâneas. Em: ANDRADE, L. T. DE; MENDONÇA, JUPIRA GOMES DE; DINIZ, A. M. A. (Eds.). . **Belo Horizonte: transformações na ordem urbana**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2015. p. 49–57.

FORSYTH, A. What is a walkable place? The walkability debate in urban design. **URBAN DESIGN International**, v. 20, n. 4, p. 274–292, dez. 2015.

FRANCO, P. E.; RANGEL, C. M. A. Urbanização e a mobilidade urbana: substituição modal como solução aos impactos ambientais. v. 08, p. 17–29, 2017.

GARCÍA, F. A. V. et al. **Los sistemas de información geográfica en el análisis de la siniestralidad en carretera. Estudio particular para la provincia de La Coruña**. Em: XII CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. Granada, 2006.

GEHL, J. **Cidade para Pessoas**. São Paulo: Perspectiva, 2013.

GEHL, J.; SVARRE, B. B. A dimensão humana: Uma abordagem sustentável do planejamento urbano. Em: ANDRADE, V.; LINKE, C. C. (Eds.). . **Cidades de Pedestres: a caminhabilidade no Brasil e no mundo**. Rio de Janeiro: Babilonia Cultura, 2017.

GEMZOE, L. World Transport Policy & Practice. **Copenhagen on foot: thirty years of planning & development**, p. 19–27, 2001.

GUALBERTO, F. S. **Estudo dos Fatores que Influenciam o Comportamento de Pedestres em Travessias de Vias Urbanas**. Mestrado em Transportes—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

GÜNTHER, H. et al. **Mobilidade Ativa e a Satisfação com o bairro Um estudo exploratório com moradores da Vila Planalto - Distrito Federal - Brasil**. Em: PNUM: A PRODUÇÃO DO TERRITÓRIO: FORMAS, PROCESSOS, DESÍGNOS. Porto, 2018.

HOEHNER, C. et al. Opportunities for Integrating Public Health and Urban Planning Approaches to Promote Active Community Environments. **American journal of health promotion : AJHP**, v. 18, p. 14–20, 1 set. 2003.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Brasil: [s.n.]. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd\\_2010\\_religiao\\_deficiencia.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd_2010_religiao_deficiencia.pdf)>. Acesso em: 26 fev. 2022.

IPEA. **Indicadores de mobilidade urbana da PNAD 2012**. Brasil: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 24 out. 2013.

IPTD. **Índice de Caminhabilidade Versão 2.0**. Disponível em: <<https://itdpbrasil.org/icam2/>>. Acesso em: 6 jan. 2022.

JACOBS, J. **Morte e vida de grandes cidades**. 3ª ed. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2011.

JONES, P. The evolution of urban mobility: The interplay of academic and policy perspectives. **IATSS Research**, v. 38, n. 1, p. 7–13, jun. 2014.

KHISTY, C. J. Evaluation of Pedestrian Facilities: Beyond the Level-of-Service Concept. **Evaluation of Pedestrian Facilities: Beyond the Level-of-Service Concept**, n. 1438, p. 45–50, 1994.

LARRAÑAGA, A. M. U. et al. The influence of built environment and travel attitudes on walking: a case study of Porto Alegre, Brazil. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 10, n. 4, p. 332, 2016.

LESSA, D. A. **Acessibilidade e mobilidade ao transporte coletivo por ônibus: evidências e contradições no caso de Belo Horizonte-MG**. Doutorado em Geografia—Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.

LIMA NETO, O. L. Um novo quadro institucional para os transportes públicos: condição sine qua non para a melhoria da mobilidade e acessibilidade metropolitana. Em: **Transporte em tempos de reforma: estudo sobre o transporte urbano**. Natal: Editora Universitária da UFRN (EDUFRN), 2004.

LITMAN, T. A. Economic Value of Walkability. **Transportation Research Record**, v. 1828, n. 1, p. 3–11, 1 jan. 2003.

LITMAN, T.; BRENNAN, M. A New Social Equity Agenda For Sustainable Transportation. **Victoria Transport Policy Institute**, p. 17, 8 mar. 2012.

LOBO, C.; CARDOSO, L. Eficiência do transporte público por ônibus em Belo Horizonte/Mg: análise com base na Pesquisa Origem Destino de 2012. **Caderno de Geografia**, v. 28, n. 52, p. 25–41, 2018.

MINAS GERAIS. **Pesquisa Origem e Destino 2012: banco de dados**. Belo Horizonte: Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte, 2012.

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

MUKHERJEE, D.; MITRA, S. A comprehensive study on identification of risk factors for fatal pedestrian crashes at urban intersections in a developing country. **Asian Transport Studies**, v. 6, p. 100003, 1 jan. 2020.

NACTO E GDCI. **Guia Global de Desenho de Ruas**. São Paulo: National Association of Cities Transportation Officials (NACTO) e Global Designing Cities Initiative (GDCI), 2013.

NÉSPOLI, L. C. M. Revista dos transportes públicos. **Simplificando os cruzamentos para facilitar mudança de comportamento**, v. 132, p. 17–45, 2012.

OMS. **Pedestrians, cyclists among main road traffic crash victims**. Disponível em: <<https://www.who.int/news/item/11-12-2010-pedestrians-cyclists-among-main-road-traffic-crash-victims>>. Acesso em: 6 jan. 2022.

OMS. **PLANO GLOBAL: DÉCADA DE AÇÃO PELA SEGURANÇA NO TRÂNSITO 2021-2030**. [s.l.] ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE, 2021. Disponível em: <<https://www.who.int/pt/publications/m/item/global-plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2021-2030>>. Acesso em: 6 jan. 2022.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Site do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/ods/ods11.html>>. Acesso em: 5 jan. 2022.

ONU. **World urbanization prospects: the 2018 revision**. Nova York: United Nations, 2019.

OPAS. **Segurança de pedestres - Manual de segurança viária para gestores e profissionais da área**. Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde, 2013.

OPAS. **Salvador, a capital brasileira que reduziu em mais de 50% as mortes no trânsito**. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/historias/salvador-capital-brasileira-que-reduziu-em-mais-50-mortes-no-transito>>. Acesso em: 6 jan. 2022.

PAIVA, J. S. C. **REVISÃO CRÍTICA DO PROJETO URBANÍSTICO PARA A CIDADE DE BELO HORIZONTE**. Em: 1º ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE ENGENHARIA E SOCIEDADE. São Paulo, 2019.

PAPADIMITRIOU, E.; YANNIS, G.; GOLIAS, J. Transportation Research. **A critical assessment of pedestrian behaviour models**, v. 12, n. 3, p. 242–255, 2009.

PEÑA, C. C.; GOLDNER, L. G. **CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DOS ACIDENTES EM INTERSEÇÕES: ESTUDO DE CASO EM RODOVIAS DE SANTA CATARINA, NO BRASIL**. p. 21, 2012.

PEREIRA, L. DE F. et al. Condições de Caminhabilidade de cadeirantes na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). 2018.

PIKORA, T. et al. Developing a framework for assessment of the environmental determinants of walking and cycling. **Social Science & Medicine** (1982), v. 56, n. 8, p. 1693–1703, abr. 2003.

PORTUGAL, L. D. S. **Transporte, mobilidade e desenvolvimento urbano**. Rio de Janeiro: [s.n.].

PORTUGAL, L. D. S.; FLÓREZ, J.; SILVA, A. N. R. DA. Rede de pesquisa em transportes: um instrumento de transformação e melhora da qualidade de vida. **TRANSPORTES**, v. 18, n. 1, 2 jul. 2010.

PORTUGAL, L. D. S.; MELLO, A. J. R. Um panorama inicial sobre transporte, mobilidade, acessibilidade e desenvolvimento urbano. Em: PORTUGAL, L. D. S. (Ed.). **Transporte, mobilidade e desenvolvimento urbano**. Rio de Janeiro: [s.n.].

RIBEIRO, H. A. S.; CALHÃO, F. M. **Faixas de travessia de pedestre: proposta de traffic calming para redução de conflitos**. Em: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE TRANSPORTE E TRÂNSITO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (ANTP). São Paulo, 2017.

RIZZON, B.; CORRÊA, F. **Por que sinistros de trânsito não são acidentes – e como podem ser evitados?** Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/blog/cidades/por-que-sinistros-de-transito-nao-sao-acidentes-e-como-podem-ser-evitados>>. Acesso em: 25 maio. 2022.

ROUDSARI, B. S. et al. Pedestrian crashes: higher injury severity and mortality rate for light truck vehicles compared with passenger vehicles. **Injury Prevention**, v. 10, n. 3, p. 154–158, 1 jun. 2004.

SADIK-KHAN, J.; SOLOMONOW, S. Seguindo os passos. Em: ANDRADE, V.; LINKE, C. C. (Eds.). **Cidades de Pedestres: a caminhabilidade no Brasil e no mundo**. Rio de Janeiro: Babilonia Cultura, 2017.

SAELENS, B. E. et al. Neighborhood-Based Differences in Physical Activity: An Environment Scale Evaluation. **American Journal of Public Health**, v. 93, n. 9, p. 1552–1558, set. 2003.

SAMIOS, A. A. B. **IMPACTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO NA UTILIZAÇÃO DE MODOS ATIVOS: ANÁLISE DAS PERCEPÇÕES DOS USUÁRIOS DE DIFERENTES MODOS DE TRANSPORTE**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

SANTOS, L. DOS; JUNIOR, A. A. R. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO EM SÃO CARLOS (SP): IDENTIFICAÇÃO DE TENDÊNCIAS DE DESLOCAMENTO ATRAVÉS DA TÉCNICA DE ELIPSE DE DESVIO PADRÃO / Spatial distribution of the traffic accidents in the São Carlos of city: identification of trends of displacement through the technique of standard deviational ellipse. **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 18, 5 set. 2006.

SAYED, T.; ZEIN, S. Traffic conflict standards for intersections. **Transportation Planning and Technology**, v. 22, n. 4, p. 309–323, 1 ago. 1999.

SIEBERT, C.; LORENZINI, L. Caminhabilidade: uma proposta de aferição científica. **Dynamis - Revista Técnico-Científica**, v. 6, n. 23, p. 89–106, 1998.

SILVA, L. R. DA. **Doce Dossiê de BH**. Belo Horizonte: Cedablio, 1991.

SILVA, M. D. D. DA; CARDOSO, L. C. R.; ALMEIDA, D. M. F. DE. Inclusão reversa e voleibol sentado: direitos humanos em jogo. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 35, n. Especial, p. 1–6, 30 jun. 2021.

TAKEMOTO, W. **Tarifa, Mobilidade e Exclusão Social**. São Paulo: Fundação Perseu Abramo, 2014.

TIWARI, G. et al. Survival analysis: Pedestrian risk exposure at signalized intersections. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 10, n. 2, p. 77–89, 1 mar. 2007.

TSAY, S. Caminhando pelo mundo: Conversas globais e ações locais. Em: ANDRADE, V.; LINKE, C. C. (Eds.). **Cidades de Pedestres: a caminhabilidade no Brasil e no mundo**. Rio de Janeiro: Babilonia Cultura, 2017.

UNGER, N. et al. Attribution of climate forcing to economic sectors. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 8, p. 3382–3387, 23 fev. 2010.

VASCONCELLOS, E. A. DE. **Transporte urbano, espaço e equidade: análise das políticas públicas**. 2ª ed. São Paulo: NetPress, 1998.

VASCONCELLOS, E. A. DE. Andar nas cidades do Brasil. Em: ANDRADE, V.; LINKE, C. C. (Eds.). . **Cidades de Pedestres: a caminhabilidade no Brasil e no mundo**. Rio de Janeiro: Babilonia Cultura, 2017.

WBCSD. **Mobility 2030: Meeting the challenges to sustainability**: The Sustainable Mobility Project, Full Report 2004. [s.l.] World Business Council for Sustainable Development, 2004. Disponível em: <<https://www.oecd.org/sd-roundtable/papersandpublications/39360485.pdf>>. Acesso em: 25 maio. 2022.

YANG, Y.; SUN, J. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. **Study on Pedestrian Red-Time Crossing Behavior**, n. 2393, p. 117–124, 2013.

ZAJAC, S. S.; IVAN, J. N. Factors influencing injury severity of motor vehicle–crossing pedestrian crashes in rural Connecticut. **Accident Analysis & Prevention**, v. 35, n. 3, p. 369–379, 1 maio 2003.

ZEGEER, C. V.; SANDT, L.; SCULLY, M. **How to Develop a Pedestrian Safety Action Plan**: Federal Highway Administration. [s.l.: s.n.].

ZHANG, C.; CHEN, F.; WEI, Y. Evaluation of pedestrian crossing behavior and safety at uncontrolled mid-block crosswalks with different numbers of lanes in China. **Accident Analysis & Prevention**, v. 123, p. 263–273, 1 fev. 2019.

**ANEXO A – DADOS DE SINISTROS E VELOCIDADES DE PEDESTRES PARA TRAVESSIAS EM INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS DO HIPERCENTRO DE BELO HORIZONTE FORNECIDOS PELA BHTRANS.**

<b>Cód</b>	<b>AH_2011</b>	<b>Área AH (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Interseção</b>	<b>N. de sinistros com pedestres (2014-2020)</b>	<b>Maior velocidade de travessia da interseção (m/s) (pior situação)</b>	<b>Ciclo (s)</b>
S318-0	1001	0,205102	AFONSO PENA / ALVARES CABRAL	10	0,40	90
S323-0	1001	0,205102	AUGUSTO DE LIMA / BAHIA	9	0,18	90
S324-0	1001	0,205102	AUGUSTO DE LIMA / JOAO PINHEIRO / GOIAS (AFONSO ARINOS)	9	0,62	90
S326-0	1001	0,205102	BAHIA / GUAJAJARAS	4	0,35	90
S327-0	1001	0,205102	JOAO PINHEIRO / GUAJAJARAS	3	0,79	90
S327-2	1001	0,205102	GUAJAJARAS / GOIAS	7	0,58	90
S328-0	1001	0,205102	AFONSO PENA / CARANDAI	22	0,23	90
S332-1	1001	0,205102	JOAO PINHEIRO / TIMBIRAS	2	0,16	90

S332-2	1001	0,205102	SERGIPE / TIMBIRAS	1	0,68	90
S333-0	1001	0,205102	ALAGOAS / TIMBIRAS	1	0,17	90
S334-0	1001	0,205102	AFONSO PENA / TIMBIRAS	7	0,51	90
S330-0	1004	0,190377	ALVARES CABRAL / ESPÍRITO SANTO / TIMBIRAS	4	0,35	120
S331-0	1004	0,190377	BAHIA / TIMBIRAS	4	0,28	90
S601-0	1004	0,190377	BIAS FORTES / TIMBIRAS	6	0,30	90
S602-1	1004	0,190377	SAO PAULO / TIMBIRAS	3	0,82	90
S602-2	1004	0,190377	RIO DE JANEIRO / TIMBIRAS	0	0,23	90
S603-0	1004	0,190377	BIAS FORTES / SAO PAULO	6	0,94	90
S604-0	1004	0,190377	ALVARES CABRAL / BIAS FORTES	1	0,68	90
S111-0	1009	0,333998	SANTOS DUMONT / CURITIBA	15	0,85	90
S117-2	1009	0,333998	CAETES / GUARANI	11	0,76	90
S118-0	1009	0,333998	AFONSO PENA / CAETES	47	0,18	90
S119-0	1009	0,333998	CAETES / SAO PAULO	4	0,26	90
S125-1	1009	0,333998	OLEGARIO MACIEL / TUPINAMBAS	14	0,17	90

S126-0	1009	0,333998	TUPINAMBAS / GUARANI	16	0,84	90
S127-0	1009	0,333998	PARANA / TUPINAMBAS	11	0,55	90
S128-1	1009	0,333998	TUPINAMBAS / CURITIBA	15	0,75	90
S128-2	1009	0,333998	CURITIBA / CARIJOS	7	0,71	45
S130-0	1009	0,333998	OLEGARIO MACIEL / CARIJOS	10	0,23	90
S131-0	1009	0,333998	GUARANI / CARIJOS	1	0,57	90
S132-0	1009	0,333998	PARANA / CARIJOS	11	0,41	90
S204-2	1009	0,333998	TAMOIOS / RIO GRANDE DO SUL	0	0,90	90
S205-0	1009	0,333998	OLEGARIO MACIEL / TAMOIOS	7	0,21	90
S207-1	1009	0,333998	PARANA / TAMOIOS	1	0,57	90
S207-2	1009	0,333998	TAMOIOS / GUARANI	1	0,71	90
S211-0	1009	0,333998	OLEGARIO MACIEL / TUPIS	6	0,19	90
S214-1	1009	0,333998	PARANA / TUPIS	5	0,17	90
S214-2	1009	0,333998	TUPIS / GUARANI	6	0,51	45
S214-3	1009	0,333998	TUPIS / SANTA CATARINA	11	0,40	90

S215-2	1009	0,333998	CURITIBA / TAMOIOS	4	0,30	90
S218-0	1009	0,333998	OLEGARIO MACIEL / GOITACAZES	10	0,22	90
S220-3-4	1009	0,333998	OLEGARIO MACIEL / PRACA RAUL SOARES - PISTA EXT. (RODOVIARIA-CONTORNO)	0	0,65	90
S221-0	1009	0,333998	AMAZONAS / SANTA CATARINA	20	0,56	90
S301-0	1009	0,333998	AFONSO PENA / SAO PAULO	65	0,28	90
S104-1	1010	0,265157	CONTORNO / ESPÍRITO SANTO - ARRUDAS	8	0,94	90
S104-2	1010	0,265157	ESPÍRITO SANTO / GUAICURUS	9	0,55	90
S105-1	1010	0,265157	CONTORNO / ANDRADAS (FLORESTA)	9	0,54	90
S105-2	1010	0,265157	CONTORNO / BAHIA JANUARIA	4	0,67	90
S107-0	1010	0,265157	BAHIA / GUAICURUS	9	0,46	90
S108-0	1010	0,265157	ANDRADAS / GUAICURUS	2	0,50	90
S114-0	1010	0,265157	SANTOS DUMONT / ESPÍRITO SANTO	6	0,96	90
S120-1	1010	0,265157	ESPÍRITO SANTO / CAETES	16	0,21	90
S120-2	1010	0,265157	CAETES / RIO DE JANEIRO	16	0,65	90
S121-0	1010	0,265157	AMAZONAS / BAHIA / CAETES	18	0,25	90

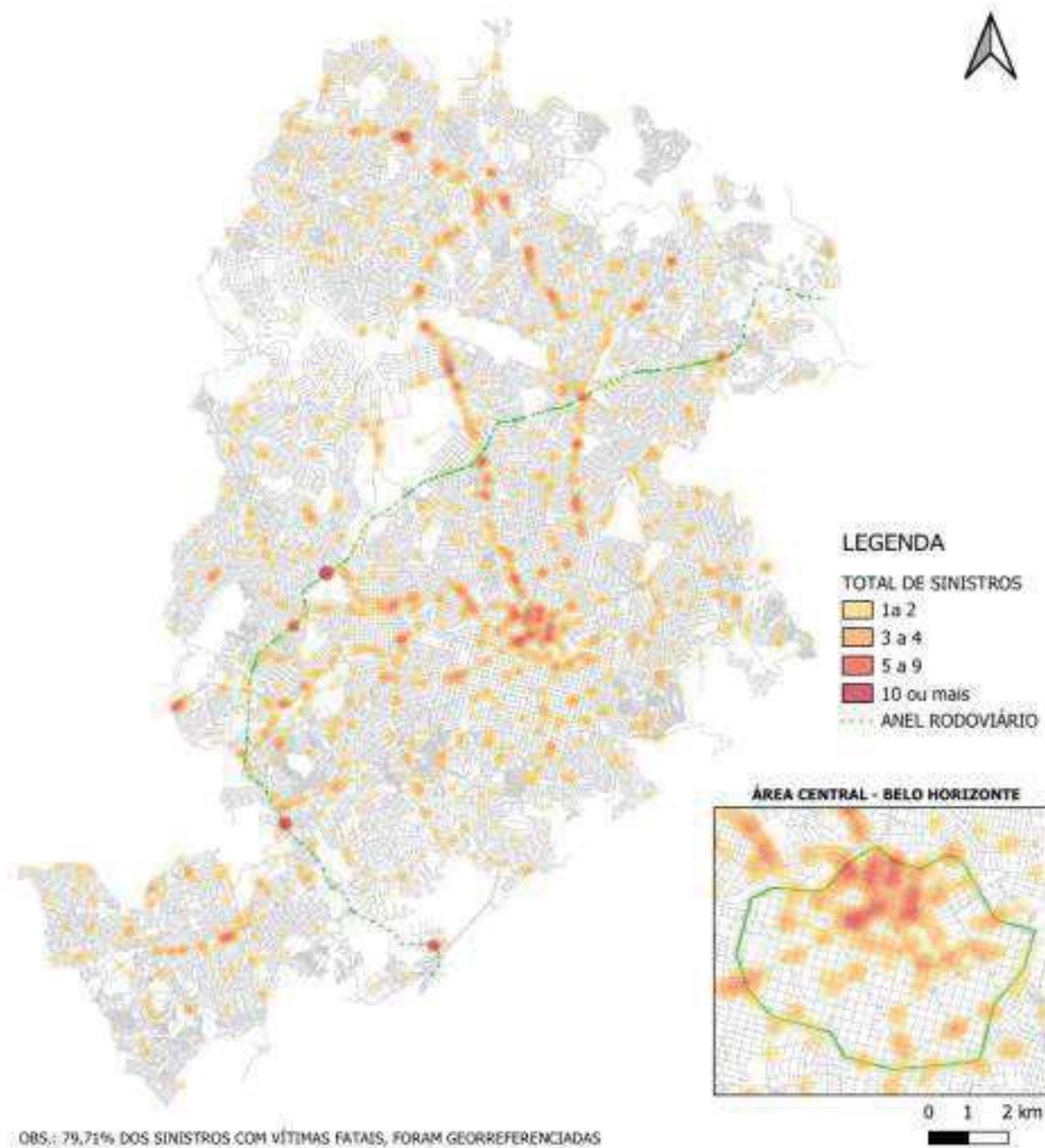
S122-0	1010	0,265157	ANDRADAS / CAETES	33	0,81	90
S215-1	1011	0,155753	AMAZONAS / CURITIBA	32	0,67	90
S217-1	1011	0,155753	SAO PAULO / TUPIS	10	0,25	90
S219-0	1011	0,155753	AMAZONAS / PARANA	31	0,11	90
S220-1-2	1011	0,155753	BIAS FORTES / PRACA RAUL SOARES - PISTA EXT. (ELEVADO-LIBERDADE)	2	0,35	90
S223-1	1011	0,155753	AMAZONAS / PRACA RAUL SOARES (CENTRO-BAIRRO)	5	0,69	90
S223-2-3	1011	0,155753	AUGUSTO DE LIMA / PRAÇA RAUL SOARES - PISTA EXT. (CENTRO-BAIRRO)	2	0,27	90
S224-0	1011	0,155753	CURITIBA / PADRE BELCHIOR	7	0,95	45
S227-0	1011	0,155753	AUGUSTO DE LIMA / SANTA CATARINA	2	0,23	90
S228-1-2	1011	0,155753	BIAS FORTES / PRACA RAUL SOARES - PISTA EXT. (PCA LIBERDADE)	0	0,35	90
S231-0	1011	0,155753	BIAS FORTES / SANTA CATARINA	5	0,35	90
S319-0	1011	0,155753	AUGUSTO DE LIMA / CURITIBA	5	0,67	120
S320-0	1011	0,155753	AUGUSTO DE LIMA / SAO PAULO	14	0,93	90

S210-0	1012	0,156034	AMAZONAS / SAO PAULO	51	0,29	90
S304-0	1012	0,156034	SAO PAULO / CARIJOS	6	0,58	45
S305-0	1012	0,156034	AFONSO PENA / AMAZONAS (PC. SETE)	56	0,32	90
S309-0	1012	0,156034	TAMOIOS / RIO DE JANEIRO	5	0,76	45
S310-0	1012	0,156034	AFONSO PENA / ESPÍRITO SANTO / TAMOIOS	35	0,10	90
S312-0	1012	0,156034	ESPÍRITO SANTO / TUPIS	5	0,14	90
S129-0	1013	0,04483	AMAZONAS / ESPÍRITO SANTO	24	0,88	120
S302-0	1013	0,04483	BAHIA / TUPINAMBAS	14	0,25	90
S306-0	1013	0,04483	ESPÍRITO SANTO / CARIJOS	5	0,30	90
S307-0	1013	0,04483	BAHIA / CARIJOS	8	0,25	90
S217-2	1014	0,118121	SAO PAULO / GOITACAZES	6	0,68	90
S315-0	1014	0,118121	ESPÍRITO SANTO / GOITACAZES	3	0,81	90
S316-0	1014	0,118121	BAHIA / GOITACAZES	3	0,55	90
S321-0	1014	0,118121	AUGUSTO DE LIMA / RIO DE JANEIRO	4	0,77	90
S322-0	1014	0,118121	AUGUSTO DE LIMA / ESPÍRITO SANTO	7	0,62	90

S303-0	1015	0,303276	ANDRADAS / TUPINAMBAS	33	1,02	90
S308-0	1015	0,303276	ANDRADAS / ASSIS CHATEAUBRIAND (VIADUTO STA. TEREZA)	14	0,13	90
S311-0	1015	0,303276	BAHIA / TAMOIOS	24	0,24	90
S313-0	1015	0,303276	AFONSO PENA / BAHIA	34	0,31	90
S329-0	1015	0,303276	CARANDAI / ALFREDO BALENA / PERNAMBUCO	16	1,08	90
S416-1	1015	0,303276	ANDRADAS / ALAMEDA EZEQUIEL DIAS	8	0,45	90
S416-2	1015	0,303276	ALAMEDA EZEQUIEL DIAS / ALAMEDA ALVARO CELSONO	1	0,18	90
S124-1	1069	0,166666	TUPINAMBAS / RIO GRANDE DO SUL	11	0,82	90
S124-2	1069	0,166666	CONTORNO / RIO GRANDE DO SUL	3	0,30	90
S125-2	1069	0,166666	OLEGARIO MACIEL / CAETES	14	0,30	90
S204-1	1069	0,166666	MATO GROSSO / TAMOIOS	2	0,34	90
S206-1	1069	0,166666	BIAS FORTES / TUPIS	14	0,80	90
S206-2	1069	0,166666	RIO GRANDE DO SUL / TUPIS	5	0,31	90
S216-0	1069	0,166666	BIAS FORTES / GOITACAZES	10	0,84	90

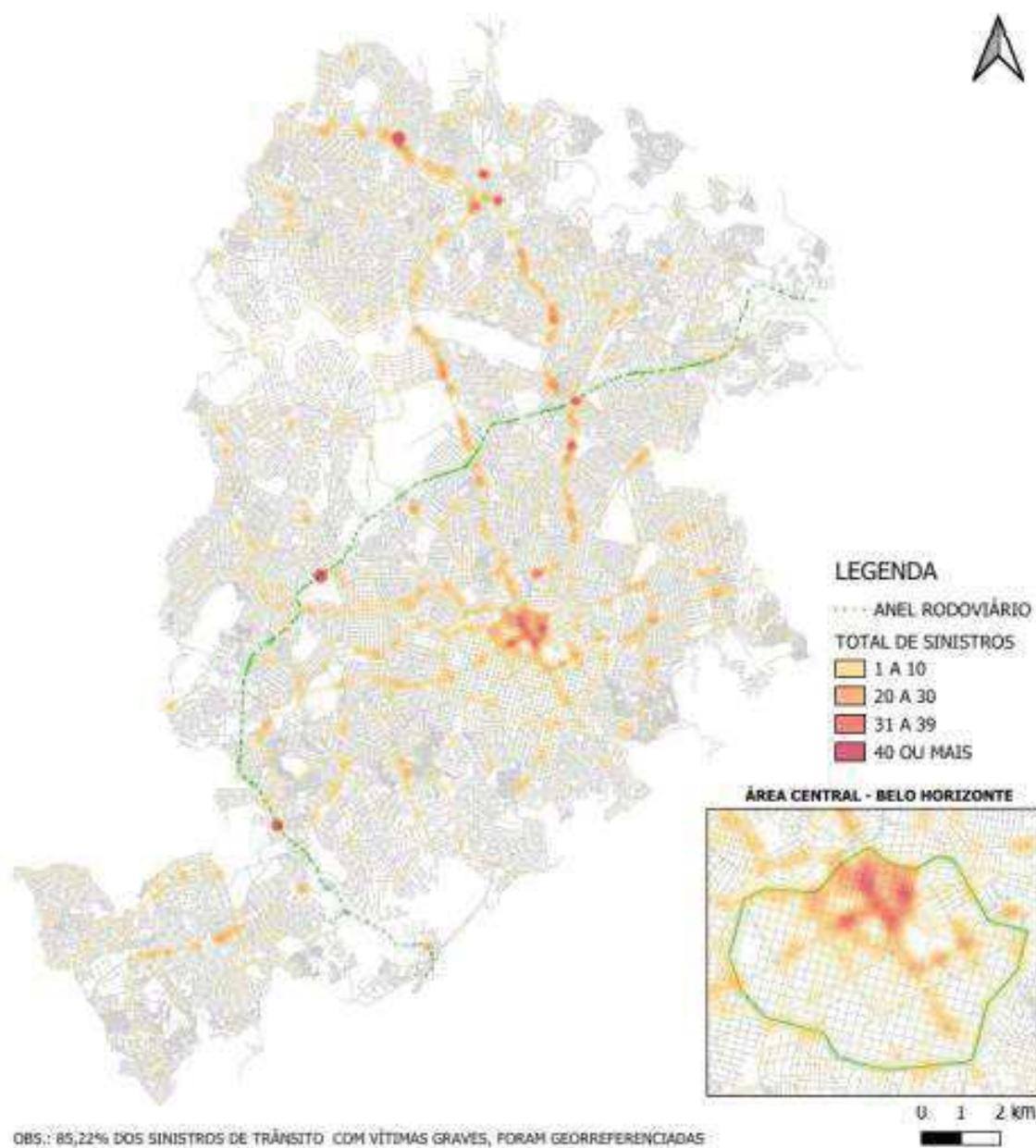
S103-1	1070	0,199769	CONTORNO / RIO DE JANEIRO	9	0,78	90
S110-1	1070	0,199769	PARANA / SANTOS DUMONT (PRAÇA RIO BRANCO)	11	0,58	90
S110-2	1070	0,199769	PRAÇA RIO BRANCO (PEDESTRE)	0	0,40	90
S110-3	1070	0,199769	PAULO DE FRONTIM / GUARANIS	2	0,25	90
S111-2	1070	0,199769	CURITIBA / GUAICURUS	23	0,57	90
S112-1	1070	0,199769	SANTOS DUMONT / SAO PAULO	9	0,75	90
S112-2	1070	0,199769	SAO PAULO / GUAICURUS	13	0,24	90
S113-1	1070	0,199769	SANTOS DUMONT / RIO DE JANEIRO	4	0,77	90
S113-2	1070	0,199769	RIO DE JANEIRO / GUAICURUS	4	0,78	90
S117-0	1070	0,199769	PARANA / CAETES	16	0,24	90

**ANEXO B – MAPA DE CALOR EXIBINDO A QUANTIDADE E A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE SINISTROS DE TRÂNSITO, REGISTRADOS DE 2011 A 2020, QUE ENVOLVERAM MORTOS**



Fonte: Cadurin (2022).

**ANEXO C – MAPA DE CALOR EXIBINDO A QUANTIDADE E A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE SINISTROS DE TRÂNSITO, REGISTRADOS DE 2011 A 2020, QUE ENVOLVERAM FERIDOS GRAVES.**



Fonte: Cadurin (2022).